

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-7118-TDI/670

**IMPACTO DAS IMAGENS AVHRR NA CLASSIFICAÇÃO DE
PADRÕES DE NEBULOSIDADE UTILIZANDO O MODELO
ITPP5.0**

Jorge Luiz Martins Nogueira

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Nelson Jesus
Ferreira e pelo Dr. Eduardo Jorge de Brito Bastos, aprovada em abril de 1998.

INPE
São José dos Campos
1999

528.711.7

NOGUEIRA, J. L. M.

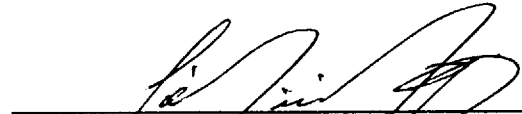
Impacto das imagens A VHRR na classificação de
padrões de nebulosidade utilizando o modelo ITPP5.0 / São
José dos Campos: INPE, 1998.

89p. – (INPE-7118-TDI/670).

1.Satélites TIROS. 2.Sondagens atmosféricas.
3.Satélites NOAA. 4.A VHRR. 5.Sensoriamento remoto.
I. Título.


Aprovada pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto

Dr. Getúlio Teixeira Batista



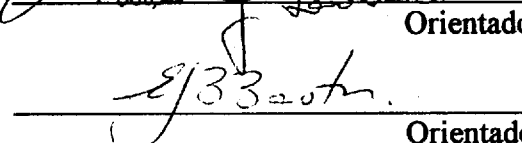
Presidente

Dr. Nelson de Jesus Ferreira



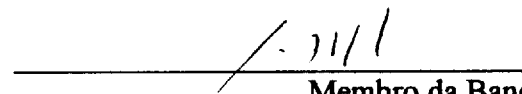
Orientador

Dr. Eduardo Jorge de Brito Bastos



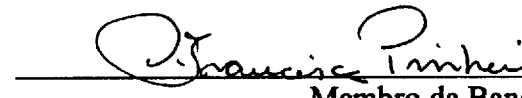
Orientador

Dr. José Luiz Stech



Membro da Banca

Dra. Francisca Maria Alves Pinheiro



Membro da Banca
Convidado

Candidato: Jorge Luiz Martins Nogueira

São José dos Campos, 14 de abril de 1998

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pela oportunidade de melhorar meus conhecimentos através do curso de mestrado em Sensoriamento Remoto.

Aos Drs. Nelson Jesus Ferreira e Eduardo Jorge de Brito Bastos pela orientação como também por terem contribuído para a minha formação profissional.

Aos membros da Banca Examinadora pelas sugestões no aprimoramento do trabalho.

Ao Yoshihiro Yamazaki, atualmente em atividade na Universidade Federal de Pelotas, pelo fornecimento dos dados das passagens do NOAA-14 utilizados neste trabalho e algumas rotinas de leitura dos dados AVHRR.

A minha família pelo incentivo e compreensão.

Aos colegas da Divisão de Meteorologia por Satélite pelo apoio e colaboração, bem como a todos que de alguma forma contribuíram para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo incorporar as informações de imagens do radiômetro avançado de alta resolução “*Advanced Very High Resolution Radiometer*” – (AVHRR) na quinta versão do pacote internacional de processamento TOVS “*International TOVS Processing Package*” – (ITPP5.0) para avaliar o seu desempenho em relação à classificação do padrão de cobertura de nuvens no local da sondagem. Além disso realiza uma análise dos perfis verticais de temperatura da atmosfera inferidos através do sondador vertical operacional TIROS “*TIROS Operational Vertical Sounder*” – (TOVS). Foram utilizados dados da passagem do satélite NOAA-14, referentes ao horário da tarde dos dias 14, 15 e 16 de outubro de 1997 cobrindo a região sul do Brasil e parte do oceano Atlântico Sul. O aplicativo ITPP5.0 foi executado para diferentes opções de processamento utilizando dados internos referentes à superfície terrestre e atmosfera, dados de temperatura da superfície terrestre e dados de previsão numérica de tempo. Os resultados obtidos mostram que em geral o padrão de nebulosidade é melhor classificado com a introdução dos dados AVHRR. Observa-se também que os perfis verticais de temperatura são influenciados em média até a altura equivalente a 700 hPa devido a ancoragem do perfil com dados de temperatura da superfície terrestre e que os dados de previsão numérica de tempo (“first guess”) influenciam os perfis em todos os níveis de pressão.

IMPACT OF AVHRR IMAGES FOR CLASSIFYING CLOUD PATTERNS USING ITPP5.0 MODEL.

ABSTRACT

The aim of this work is to incorporate data extracted from the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) sensor into International TOVS Processing Package (ITPP5.0) model and then to evaluate its performance for classifying clouds coverage patterns at soundings locations. Also, a brief analysis of the resulting temperature and moisture profiles is presented. The analysis was based on radiance data from the satellite NOAA-14, afternoon passages, for the 14th - 16th October, 1997 period, and covering the Southern region of Brazil and vicinities. The ITPP5.0 model was set up with different processing options involving internal data (regression coefficients), surface temperature data and temperature profile from numerical weather forecasting model. The results obtained show that in general the cloud pattern is better classified with the aid of AVHRR data. It was also observed that the processing of anchoring surface temperature influences the temperature profile up to the equivalent height of 700 hPa. On the other hand the use of temperature and moisture profiles as a first guess affects the behaviour of the resulting ITPP5.0 profiles in all tropospheric levels.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE SÍMBOLOS	15
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	17
<u>CAPÍTULO 1</u> - <u>INTRODUÇÃO</u>	19
<u>CAPÍTULO 2</u> - <u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	25
<u>CAPÍTULO 3</u> - <u>SONDAGENS ATMOSFÉRICAS</u>	29
3.1 - Considerações gerais	29
3.2 - Instrumentos do sistema TOVS	34
3.3 - Incorporação do AVHRR	40
<u>CAPÍTULO 4</u> - <u>METODOLOGIA</u>	47
4.1 - O modelo ITPP5.0	47
4.2 - Geração dos arquivos auxiliares	50
4.3 - Aplicação do ITPP5.0	55
<u>CAPÍTULO 5</u> - <u>RESULTADOS</u>	57
5.1 - Cobertura de nuvens: análise preliminar	57
5.2 - Regressão e regressão + AVHRR	61
5.3 - Regressão + superfície e regressão + superfície + AVHRR	73
5.4 - Previsão + superfície + AVHRR	77
5.5 - Padrões de perfis verticais	79

<u>CAPÍTULO 6 - RESUMO E CONCLUSÕES</u>	83
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	87

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Cobertura global de dados de altitude	21
3.1 - Espectro normalizado de um corpo negro à temperatura equivalente do Sol e da Terra	29
3.2 - Propagação da energia através da atmosfera	32
3.3 - Bandas de absorção utilizadas na sondagem remota da atmosfera	33
3.4 - Função peso normalizada do TOVS	37
3.5 - Mosaico ilustrando a costa leste do Brasil e adjacências derivada do HIRS/2, canais 1 a 10	38
3.6 - Diagrama de Coakley para um FOV do HIRS/2	42
4.1 - Fluxograma do modelo ITPP 5.0	49
4.2 - Formato HRPT	52
5.1 - Imagem da região sul do Brasil e parte do oceano Atlântico Sul obtida com o satélite meteorológico NOAA-14, canal 1, dia 15/10/97, hora 17:20 GMT	58
5.2 - Setor da imagem da Figura 5.1 mostrando a distribuição das sondagens inferidas utilizando a opção regressão com dados AVHRR	59
5.3 - Ilustração da técnica de extração de dados AVHRR/HIRS/2	60
5.4 - Média digital dos cinco canais AVHRR para o mesmo campo de visada das 50 sondagens classificadas como TIPO 1/opção regressão	62
5.5 - Média digital dos cinco canais AVHRR para o mesmo campo de visada das 375 sondagens classificadas como TIPO 4/ opção regressão	62
5.6 - Mosaico referentes aos FOV das 38 sondagens classificadas como TIPO 4 com baixos albedos/ opção regressão: (a) canal 1, (b) canal 5	65
5.7 - Mosaicos referentes aos FOV das 50 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção regressão: (a) canal 1, (b) canal 5	67
5.8 - Média digital dos cinco canais AVHRR para o mesmo campo de visada das 40 sondagens classificadas TIPO 1/ opção regressão + AVHRR	69
5.9 - Mosaicos referentes aos FOV das 40 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção regressão + AVHRR: (a) canal 1, (b) canal 5	70

5.10 - Mosaicos referentes aos FOV das 2 sondagens classificadas como TIPO 2/ opção regressão + AVHRR para os canais 1 e 5	71
5.11 - Mosaicos referentes aos FOV de 5 sondagens classificadas como TIPO 3/ opção regressão + AVHRR com características de TIPO 1 nos canais 1 e 5	72
5.12 - Mosaicos referentes aos FOV de 10 sondagens classificadas como TIPO 4/ opção regressão + AVHRR com características de TIPO 1 nos canais canais 1 e 5	72
5.13 - Média digital dos cinco canais AVHRR para o mesmo campo de visada das 87 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção regressão + superfície	74
5.14 - Mosaico referentes aos FOV das 87 sondagens no canal 1 classificadas classificadas como TIPO 1 / opção regressão + superfície	75
5.15 - Mosaico referentes aos FOV das 66 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção regressão + superfície + AVHRR: (a) canal 1, (b) canal 5	76
5.16 – Média digital dos cinco canais AVHRR para o mesmo campo de visada das 66 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção regressão + superfície + AVHRR	77
5.17 - Média digital dos cinco canais AVHRR para o mesmo campo de visada das 85 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção previsão + superfície + AVHRR	78
5.18 - Mosaico referente aos FOV das 85 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção previsão + superfície + AVHRR para o canal 1	79
5.19 – Perfis verticais de T e T _d . (a) céu limpo, (b) céu nublado	81

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Características do HIRS/2	35
3.2 - Características do MSU	36
3.3 - Características do SSU	36
3.4 - Principais Aplicações do HIRS/2	39
3.5 - Parâmetros gerais dos sensores TOVS	40
4.1 - Valores de conversão do canal 20 do HIRS/2	52
4.2 – Constantes de calibração dos canais 1 e 2	53
5.1 - Estatística dos canais AVHRR para as 50 sondagens TIPO 1/ regressão	63
5.2 - Estatística dos Canais AVHRR para as 375 sondagens TIPO 4/ regressão ...	63
5.3 - Estatística de 38 sondagens TIPO 4 com baixos albedos/ regressão	66
5.4 - Constantes de calibração para o NOAA-14	68
5.5 - Estatística das 40 sondagens TIPO 1/ regressão + AVHRR	69
5.6 - Estatística das sondagens TIPO 1/ regressão + superfície	74

LISTA DE SÍMBOLOS

A	- Albedo para os canais 1 e 2 do AVHRR
A_n	- Constante de calibração de índice n
B_λ	- Radiância espectral obtida através da lei de Planck
c	- Velocidade da luz no vácuo
G	- Constante de calibração
h	- Constante de Planck
I_λ	- Radiância espectral
$I_{clr}(v)$	- Radiância para o canal v em condição de céu limpo.
Π	- Constante de calibração
k	- Constante de Boltzman
K_j	- Constante de calibração do canal j
M_j	- Constante de calibração do canal j
N^*	- Percentagem de cobertura de nuvens
N_j	- Radiância para o canal j
N_{SP}	- Radiância do espaço livre
N_{Tj}	- Radiância do corpo negro inferida pelo canal j
S	- Albedo para o canal 20 do HIRS/2
T_λ	- Temperatura radiométrica espectral
T_r	- Temperatura real
T	- Temperatura
T_d	- Temperatura de ponto de orvalho
v	- Valor digital da medida
X_{Tj} X_{SPj}	- Media digital para o canal j da radiância do corpo negro e espaço respectivamente
w	- Identificação do canal correspondente à janela atmosférica
λ	- Comprimento de onda
$\varepsilon_{(\lambda)}$	- Emissividade espectral
$\mathfrak{T}(ps)$, $\mathfrak{T}_\lambda(p)$	- Transmitância espectral na superfície e ao nível de pressão p respectivamente

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AVHRR	- Advanced Very High Resolution Radiometer
CIMSS	- Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
ETR	- Equação de Transferência Radiativa
FOV	- Field Of View
GOES	- Geostationary Operational Environment Satellite
HIRS	- High Infrared Radiometer Sounder
HRPT	- High Resolution Picture Transmission
ITPP	- International TOVS Processing Package
MRF	- Medium Range Forecast
MSU	- Microwave Sounding Unit
NMC	- National Meteorological Center
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
SSU	- Stratospheric Sounding Unit
TIGR	- TOVS Initial Guess Retrieval
TIP	- TIROS Information Processor
TIROS	- Television and Infrared Observation Satellite
TOVS	- TIROS Operational Vertical Sounder
VAS	- VISSR Atmospheric Sounder
VISSR	- Visible and Infrared Spin Scan Radiometer

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As observações ambientais remotas vêm sendo realizadas por satélites artificiais desde 1960, com a colocação em órbita polar do primeiro satélite de observação infravermelho e de televisão (Television and Infrared Observation Satellite-1 - TIROS-1). Este tipo de órbita possibilita cobertura espacial global a cada 12 horas, com o satélite operando a uma altitude de 850 km. O período orbital aproximado é de 102 minutos, totalizando 14,1 revoluções em torno da Terra por dia (Rao et al., 1990).

Inicialmente, a carga útil destes satélites ambientais, particularmente os meteorológicos, compunha-se de instrumentos imageadores, cuja finalidade principal era a geração de imagens do sistema Terra-Atmosfera. Tais instrumentos caracterizavam-se pela sua alta resolução espacial e baixa resolução espectral, devido ao reduzido número de canais imageadores.

Com a evolução tecnológica e a com a idéia de complementar as observações da estrutura vertical da atmosfera para melhorar a previsão dos fenômenos atmosféricos, foi desenvolvido um novo tipo de instrumento denominado sondador atmosférico. O sondador atmosférico tem a capacidade de coletar a radiação emitida, refletida ou espalhada em diversos níveis da atmosfera, o que possibilita inferir perfis verticais de temperatura e umidade. Apesar de sua baixa resolução espacial (quando comparada com os imageadores), o sondador apresenta uma alta resolução espectral graças a sua diversidade de canais espectrais.

Em 1978, teve início uma nova geração de satélites de órbita polar, quando foi lançado o primeiro satélite da série TIROS-N pela Administração Nacional do Oceano e Atmosfera (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA), que operará até 2002. Os principais instrumentos a bordo destes satélites são o radiômetro avançado

de muita alta resolução (Advanced Very High Resolution Radiometer – AVHRR) e o sondador vertical operacional TIROS (TIROS Operational Vertical Sounder - TOVS). O AVHRR fornece imagens em cinco bandas espectrais, enquanto o TOVS permite obter informações sobre a estrutura vertical da atmosfera. Da mesma forma os sondadores atmosféricos foram introduzidos nos satélites de órbita geoestacionária, iniciando em 1981 pelo quarto satélite geoestacionário operacional do meio ambiente (Geostationary Operational Environment Satellite-4 - GOES-4), através do radiômetro de varredura e rotação visível e infravermelho (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer - VISSR) do sondador atmosférico VISSR (VISSR Atmospheric Sounder - VAS).

Com o uso dos sondadores, começou uma nova fase de monitoramento via satélite relevante principalmente para áreas com escassez de dados observacionais de superfície e de altitude, como por exemplo, a América do Sul e os oceanos adjacentes. A Figura 1.1 ilustra observações de dados de altitude atuais e evidencia o contraste existente entre as diversas regiões do globo. No entanto, pela necessidade de se obter um produto de melhor qualidade muitos esforços têm sido empreendidos há décadas, pela comunidade científica. Uma evolução progressiva tem sido observada através de aprimoramentos dos programas computacionais e das metodologias de inferência dos perfis verticais, a partir de dados medidos por sensores a bordo de plataformas orbitais.

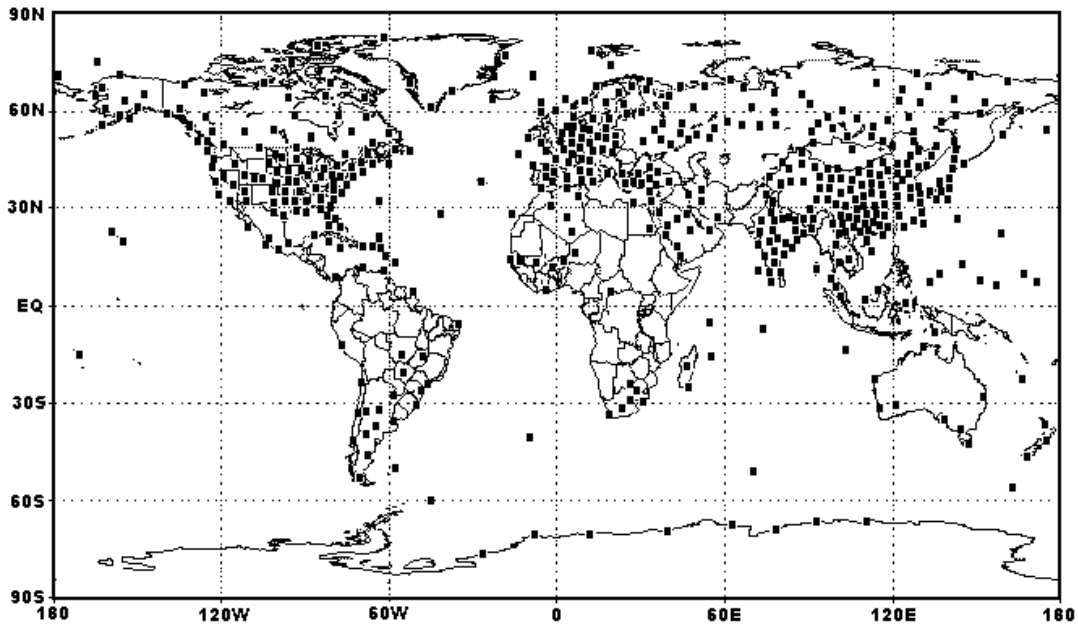


Fig. 1.1 - Cobertura global de dados de altitude.
 FONTE: Adaptada de Bj rheim et al. (1981).
 Atualizada com dados do dia 18/04/98.

Perfis verticais são obtidos a partir das radiâncias observadas pelos sensores dos sondadores atmosféricos. Para se obter perfis com boa precisão são utilizados modelos físicos complexos, que incorporam parâmetros como topografia do terreno, estimativas iniciais de perfis atmosféricos e de superfície, entre outros. Assim, a precisão dos perfis verticais da atmosfera inferidos, varia conforme a metodologia e os parâmetros utilizados. Neste sentido, novas metodologias estão sendo continuamente pesquisadas a fim de atingir resultados satisfatórios.

Um dos modelos que vem sendo utilizado com sucesso pela comunidade meteorológica mundial é o pacote internacional de processamento TOVS (International TOVS Processing Package – ITPP). Este modelo foi desenvolvido pelo Instituto de Cooperativa para estudos de satélites meteorológicos (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies - CIMSS) da Universidade de Wisconsin, em Madison, nos Estados Unidos. Atualmente, o ITPP está em sua quinta versão, a qual permite

introduzir dados de superfície e utilizar estimativas iniciais de perfis obtidos através de regressão, dados climatológicos já existentes no pacote computacional ou dados climatológicos da região considerada.

No ITPP5.0, a opção de usar imagens do AVHRR não está implementada, pois cada usuário tem uma estrutura de arquivos de dados diferente. Tal fato implicaria em se ter inúmeras rotinas no programa para converter as informações das imagens conforme o formato de entrada exigido pelo modelo. Pela impossibilidade em se desenvolver um programa tão abrangente, fica a critério de cada usuário o desenvolvimento dos programas para incorporação dos dados do AVHRR no ITPP5.0. Além disso, existe a necessidade de melhor identificar as regiões em que as sondagens não podem ser obtidas com precisão devido às condições de nebulosidade existentes. Isso é um fator importante nas regiões tropicais, onde a presença de nuvens é marcante e pode não reproduzir a verdadeira estrutura termodinâmica da atmosfera.

Em geral, os perfis verticais de temperatura e umidade da atmosfera estimados pelo ITPP5.0 são de boa qualidade principalmente para locais que apresentam condições de céu claro. Entretanto, em situações de nebulosidade, esses resultados não são condizentes com a realidade atmosférica, daí a necessidade de discriminar corretamente os diferentes padrões de cobertura e de corrigir as radiâncias detectadas pelos sensores do TOVS, conforme o índice de nebulosidade avaliado com o AVHRR. Neste contexto, as informações de imagem dos canais do sensor AVHRR são fundamentais, já que sua resolução espacial é melhor que a do TOVS (Smith et al., 1993).

Sendo assim, com o intuito de aprimorar a qualidade das sondagens remotas sobre o Brasil, este trabalho visa incorporar informações de imagens do sensor AVHRR ao pacote ITPP, avaliar a importância dessas informações incorporadas e, também, analisar se os critérios de decisão preestabelecidos pelo ITPP para o padrão de nebulosidade são válidos quando aplicados à região do Brasil e adjacências.

Com a finalidade de verificar a eficiência da implementação do AVHRR, foram processados os dados TOVS referentes a uma passagem do NOAA-14, para diferentes opções de estimativas iniciais, utilizando ou não as informações de imagens AVHRR. Também é realizada uma análise comparativa entre os perfis inferidos pelo ITPP para as diferentes opções de processamento.

Para o cumprimento dos objetivos propostos, o presente trabalho foi estruturado em capítulos, cujos conteúdos são apresentados da seguinte forma:

- Capítulo 2 - revisão bibliográfica de trabalhos referentes às sondagens atmosféricas;
- Capítulo 3 - princípios básicos que envolvem a inferência dos perfis verticais de temperatura da atmosfera e a técnica de classificação do padrão de nebulosidade utilizada pelo modelo ITPP5.0;
- Capítulo 4 - o modelo ITPP5.0 e a metodologia utilizada, principalmente para incorporar os dados AVHRR;
- Capítulo 5 - apresentação e discussão dos resultados;
- Capítulo 6 - as conclusões referentes a este trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os lançamentos dos satélites artificiais e a contínua evolução nas áreas da ciência da atmosfera e da engenharia propiciaram o surgimento de novas soluções para a recuperação dos perfis verticais de temperatura obtidos por plataformas orbitais. Esta inferência a partir da medida de radiância termal, emitida pelo sistema terra-atmosfera, foi inicialmente proposta por King (1956). Sua proposta sugere que o perfil vertical da temperatura do ar pode ser estimado pelas radiâncias medidas através de um único sensor em uma determinada frequência mas coletadas em diversas direções do espaço.

Um outro conceito, proposto por Kaplan (1959), sugeriu que as medidas fossem realizadas em uma direção fixa, normalmente no nadir, mas por sensores alocados em canais espectrais distintos próximos ao comprimento de onda de 15 μm , na região de absorção dos gases CO_2 e O_2 . Esta segunda proposta vem sendo utilizada por ser tecnicamente viável.

Utilizando essa região de absorção, a intensidade de radiação espectral que chega ao topo da atmosfera, corresponde a uma determinada altura. Sendo assim, mediante cálculos matemáticos é possível a recuperação da temperatura para os diversos níveis de pressão, desde a superfície até o topo da atmosfera.

Em escala global e de forma operacional, a inferência de perfis verticais de temperatura da atmosfera tornou-se realidade através dos sensores do sistema TOVS, levados a bordo do satélite de órbita polar da série TIROS-N. Também, os sondadores atmosféricos foram inicialmente utilizados no satélite de órbita geostacionária GOES-4 (Rao et al., 1990).

Diversos trabalhos têm avaliado a precisão dos perfis atmosféricos inferidos via plataformas orbitais. McMillin et al. (1979) realizaram comparações entre perfis de temperaturas obtidos pelo TOVS com radiosondagens convencionais para algumas regiões do hemisfério norte. Eles realizaram as análises em condições de céu limpo (*A*), parcialmente (*B*) e totalmente (*C*) coberto por nuvens. Os resultados encontrados apresentaram menores diferenças nas situações *A*, posteriormente *B* e finalmente *C*, sendo que os desvios quadráticos médios para os casos *A* e *B* foram inferiores a 2,0 K. Este estudo também avaliou o problema da dificuldade da discriminação entre os diferentes tipos de cobertura, o que resultou em diferenças maiores para os casos *A*, quando contaminadas por nuvens não classificados corretamente pelo modelo.

Além de descreverem os sensores que compõem o TOVS, Smith et al. (1979), também realizaram comparações entre as temperaturas derivadas das observações TOVS e das radiosondagens no hemisfério norte para situações de céu limpo, parcialmente nublado e coberto por nuvens. Os erros encontrados foram superiores em condições de nebulosidade, sendo que as maiores diferenças situaram-se próximas à superfície e à tropopausa (250 hPa), devido a existência freqüente de descontinuidade vertical de temperatura. Para as regiões entre 700 hPa e 400 hPa as temperaturas inferidas assemelharam-se às temperaturas das radiosondagens.

Em outro trabalho, Smith (1991) comentou sobre a precisão dos perfis inferidos através do TOVS. Neste trabalho, ratificou o mencionado por Smith et al. (1979), que a precisão varia de acordo com a intensidade da nebulosidade. A precisão inferior, sob condições de nebulosidade, é justificada pelo reduzido número de canais na região de microondas, além da sua resolução inferior em relação aos sensores do espectro infravermelho.

Um dos problemas normalmente encontrados, quando das comparações entre perfis inferidos por sensores orbitais e radiosondas, é que as radiosondagens fornecem valores pontuais, enquanto que os perfis derivados de satélites representam médias de camadas

da atmosfera. Um outro aspecto é a dificuldade da coincidência de tempo e local da coleta de dados pela radiosonda e pelo satélite (Smith, 1991).

A geração dos perfis de temperatura e umidade, e demais informações correlacionadas, são normalmente obtidas por aplicativos computacionais de grande complexidade. Entre os mais difundidos, destaca-se o ITPP, que combina os métodos físico e estatístico para a extração dos dados. Dong et al. (1991), utilizando a versão 3 do ITPP, realizaram comparações entre perfis obtidos por satélites e radiosondas para a China. Os resultados atingiram valores semelhantes aos trabalhos anteriores com um desvio de temperatura em torno de 2,0 K, sendo maiores próximos à superfície, e principalmente na região da tropopausa.

A verificação da qualidade dos perfis do TOVS também tem sido realizada para a América do Sul. Yamazaki et al. (1987) realizaram comparações entre radiosondagens e perfis verticais obtidos das informações de sondagens remotas, utilizando os dados do satélite NOAA-9. Além de ressaltar a importância para previsão meteorológica, concluíram que os perfis do TOVS substituem as sondagens convencionais, principalmente até o nível de 100 hPa.

Utilizando a versão 4 do ITPP, Sakuragi (1992) realizou um estudo de impacto dos dados TOVS no modelo diagnóstico de análise sinótica, para uma situação ocorrida na região sul e sudeste do Brasil. Ele concluiu que os perfis obtidos são importantes, principalmente em regiões com escassez de dados como os oceanos. Além disso, Sakuragi avaliou a qualidade dos dados TOVS, mediante sua concordância com a situação meteorológica observada nas imagens de satélite.

Teixeira (1996a) realizou comparações entre as versões 4 e 5 do aplicativo ITPP e dados do modelo Medium Range Forecast (MRF) do Centro de Previsão Numérica dos Estados Unidos (NMC). Da comparação concluiu que a versão 5 do ITPP apresentou melhores resultados, principalmente quando utilizada a opção TOVS Initial Guess

Retrieval (TIGR), disponível nessa última versão, que consiste de 1761 perfis atmosféricos selecionados dentre 150 mil, representando uma grande diversidade de condições meteorológicas mundiais. Em outro trabalho, Teixeira (1996b) também chegou à mesma conclusão quando comparou os resultados dessas duas versões do ITPP com dados de radiosondagens. Ele observou que a versão 5 permite inferir melhor a estrutura vertical da temperatura da atmosfera.

Esforços têm sido direcionados com o intuito de aprimorar os resultados referentes à inferência de perfis verticais de temperatura e umidade do ar, visando utilizá-los em modelos numéricos de previsão de tempo. Csiszár e Kovács (1993) avaliaram o impacto não favorável dos dados TOVS, obtidos através do ITPP4, na Hungria. Todavia, este impacto foi considerado positivo para o hemisfério sul, conforme avaliado por Sakuragi (1992), em virtude da menor densidade de informações disponíveis sobre a superfície e atmosfera.

Assim, melhorias nos métodos são necessárias para aprimorar a qualidade dos produtos derivados dos perfis inferidos por modelos, como exemplo, a incorporação de imagens do AVHRR no ITPP5.0. Esta incorporação foi discutido por Smith et al. (1993), que após a introdução das informações de imagens obtiveram um produto de qualidade superior para as regiões da América do Norte. Esta melhoria é explicada em razão da correção das temperaturas de brilho dos sensores do TOVS em condições de nebulosidade parcial, e a classificação correta das sondagens em relação ao padrão de cobertura por nuvens. Sob este propósito, o presente trabalho realiza uma avaliação dos resultados do ITPP5.0 para o Brasil com a incorporação de dados do AVHRR.

CAPÍTULO 3

SONDAGENS ATMOSFÉRICAS

3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

A transferência de energia se realiza mediante três processos distintos: a condução, a convecção e a radiação. A radiação é o único processo pelo qual a transferência de energia se processa sem a necessidade de um meio físico.

Sabe-se que qualquer corpo com temperatura absoluta acima de zero Kelvin emite radiação através de ondas eletromagnéticas. Sendo assim, o sistema Terra-atmosfera, que apresenta uma temperatura de equilíbrio média em torno de 255 K, emite radiação na faixa do infravermelho termal segundo a lei de Planck.

A energia emitida pela Terra, e que é detectada pelos sensores a bordo das plataformas orbitais, segue aproximadamente a distribuição espectral da curva equivalente à temperatura de 255 K, ilustrada pela Figura 3.1. Esta figura também mostra o espectro de energia interceptado pelo sistema terra-atmosfera proveniente do sol (energia solar - $\lambda < 4\mu\text{m}$).

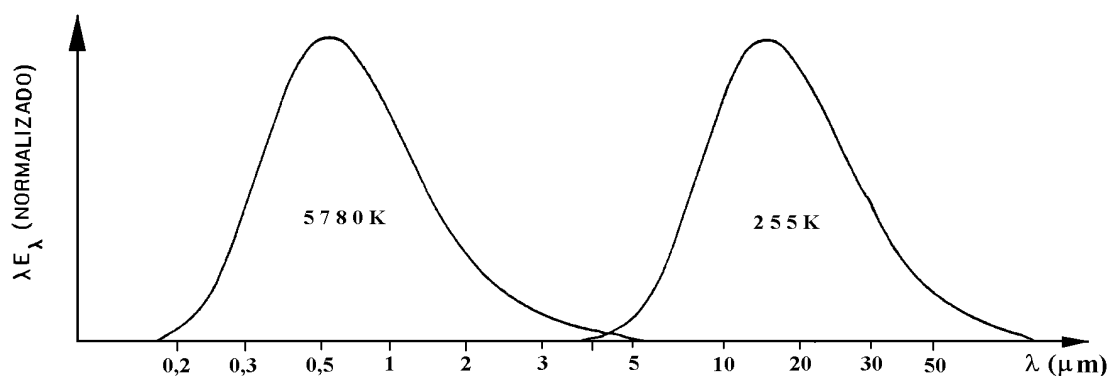


Fig. 3.1 - Espectro normalizado de um corpo negro à temperatura equivalente do Sol e da Terra.

FONTE: Adaptada de Menzel (1991, p. 2-14)

Na faixa do espectro eletromagnético até o valor aproximado de 4 μm , a radiância, que é detectada pelos sensores remotos, se deve ao processo de reflexão e/ou espalhamento. Por outro lado, na faixa do infravermelho acima de 4 μm , a radiância detectada pelos sensores orbitais é proveniente do processo de emissão. Deve ser observado que existe uma região de sobreposição próxima a 4 μm onde os três processos podem ocorrer.

A lei de Planck, que caracteriza a intensidade de radiação emitida por corpos reais em função da temperatura e para um determinado comprimento de onda, é expressada por:

$$B(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)}, \quad (3.1)$$

onde $C_1 = 2 hc^2 = 1,19 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ sr cm}^{-4})$, $C_2 = hc/k = 1,44 \times 10^{-2} \text{ cm K}$ e, $B(\lambda, T)$ é a radiância emitida expressa em $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr cm})$.

As medidas realizadas por sensores orbitais fornecem a radiância aparente dos corpos terrestres, sendo que a variável de interesse é a temperatura, a qual pode ser extraída da manipulação da equação de Planck. Esta temperatura conhecida como temperatura de brilho ou radiométrica, é equivalente à temperatura de um corpo negro. Através da Equação 3.1 obtém-se a temperatura de brilho dada por:

$$T_\lambda = \frac{C_2}{\lambda \ln(1 + \frac{C_1}{\lambda^5 B_\lambda})} \quad (3.2)$$

Existe uma diferença entre a temperatura real e a temperatura radiométrica inferida por sensores remotos. A diferença é proveniente da variação da emissividade dos corpos em função do comprimento de onda. A relação existente entre a temperatura real T e a temperatura radiométrica T_r é:

$$T_{(\lambda)} = \mathcal{E}_{(\lambda)}^{1/4} Tr_{(\lambda)} \quad (3.3)$$

Na prática o que se mede é a radiância emitida pela superfície e que interage com a própria atmosfera ao longo de sua trajetória até atingir os sensores orbitais. Sendo assim, a radiância que chega ao topo da atmosfera é um somatório da energia emitida pelos diversos níveis da atmosfera. A Equação de Transferência Radiativa (ETR) utilizada para determinação da estrutura vertical da temperatura da atmosfera, sintetiza os efeitos desta interação. A ETR para um comprimento de onda é apresentada através da expressão:

$$I_{\lambda} = B_{\lambda}(T_{ps}) \mathfrak{T}_{\lambda}(ps) + \sum_p \mathcal{E}_{\lambda}(\Delta p) B_{\lambda}(T_p) \mathfrak{T}_{\lambda}(p), \quad (3.4)$$

onde I_{λ} é a radiância espectral emergente do sistema terra-atmosfera medida pelos sensores do satélite; o primeiro termo à direita da equação é a contribuição da superfície terrestre ; o segundo termo é a contribuição da radiância espectral emitida pelos vários níveis de pressão ao longo da atmosfera.

Na Equação 3.4, a energia emitida em um determinado nível é o produto da radiância obtida através da lei de Planck pela transmitância deste nível até o topo da atmosfera e pela emissividade. Nesta equação, a superfície é considerada como um corpo negro, justificando a ausência da emissividade no primeiro termo. Uma outra maneira de escrever a ETR na forma de integral e em coordenadas de pressão é apresentada pela Equação 3.5.

$$I_{\lambda} = B_{\lambda}(T_{ps}) \mathfrak{T}_{\lambda}(p_s) + \int_{p_s}^0 B_{\lambda}(T_p) \frac{d\mathfrak{T}_{\lambda}(p)}{dp} dp \quad (3.5)$$

A variação da transmitância em função da pressão ($\frac{d\mathfrak{T}_\lambda(p)}{dp}$) é conhecida como função peso do sensor. Esta função multiplicada pela radiação $B_\lambda(T_p)$ resulta na contribuição da radiação ascendente deste determinado nível de pressão. A Figura 3.2 ilustra a propagação da energia que é medida pelo satélite.

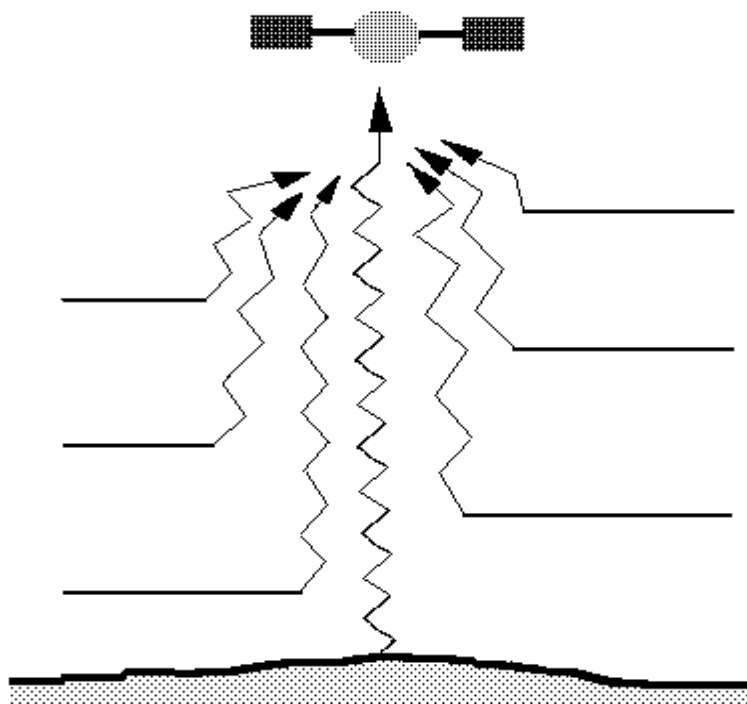


Fig. 3.2 – Propagação da energia através da atmosfera.

O princípio fundamental das sondagens atmosféricas obtidas por satélites meteorológicos está baseado na solução da ETR. A função de Planck B_λ é função do comprimento de onda e da temperatura da atmosfera, enquanto que a transmitância está associada aos coeficientes de absorção e às densidades dos gases absorventes.

O vapor d'água, o dióxido de carbono e o ozônio são os principais gases, que absorvem a radiação emitida pela superfície terrestre. A quantidade de radiação absorvida depende

das características de absorção dos gases, bem como de suas concentrações na atmosfera.

A Figura 3.3 ilustra as regiões do infravermelho e microondas com algumas de suas características e aplicações.

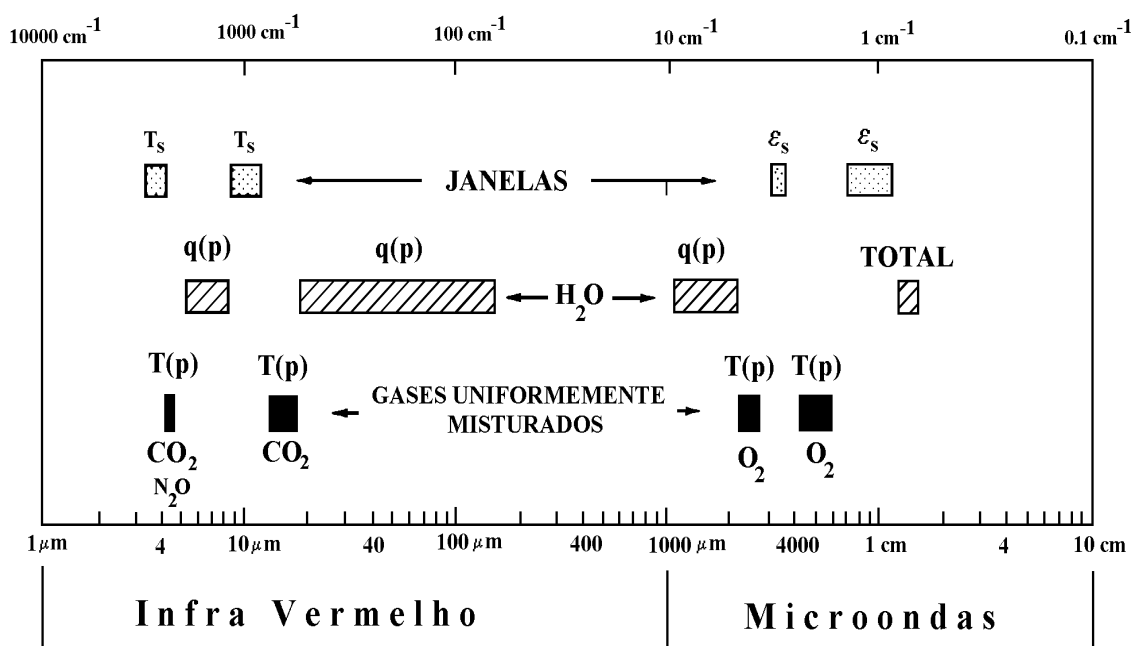


Fig. 3.3 - Bandas de absorção utilizadas na sondagem remota da atmosfera.
 FONTE: Adaptada de Smith (1985, p. 415).

As regiões de mínima absorção, denominadas de janelas atmosféricas, ocorrem em 4 μm , 10 μm , 0,3 cm e 1 cm . A região da janela localizada no infravermelho é utilizada para inferir a temperatura da superfície da Terra ou das nuvens, enquanto a janela em microondas é usada para obtenção da emissividade da superfície e do conteúdo de água líquida das nuvens.

As bandas de absorção do CO₂ e O₂ em 4,3 μm, 15 μm, 0,25 cm, e 0,5 cm são utilizadas para a obtenção dos perfis de temperatura, visto que tais gases são uniformemente distribuídos e de concentrações conhecidas. As bandas de absorção do vapor d'água, próxima a 6,3 μm, entre 18 μm e 150 μm, próxima a 0,2 cm e próxima a 1,3 cm são sensíveis à concentração de vapor d'água na atmosfera.

3.2 - INSTRUMENTOS DO SISTEMA TOVS

O sistema TOVS, que opera a bordo do satélite da série TIROS, consiste basicamente de 3 instrumentos independentes:

- Sondador de radiação infravermelha de alta resolução (High Infrared Radiometer Sounder/2 - HIRS/2);
- Unidade de sondagem em microondas (Microwave Sounding Unit - MSU);
- Unidade de sondagem estratosférica (Stratospheric Sounding Unit - SSU).

O HIRS/2 é um instrumento constituído de 19 canais espectrais na região do infravermelho entre 3,7 μm a 15 μm, e um canal na região do visível centrado em 0,70 μm. Os canais do infravermelho detectam a energia emitida pela superfície e atmosfera, enquanto que o canal visível detecta a energia refletida ou espalhada pelo sistema Terra-atmosfera. Por isso, este último é utilizado para o cálculo do albedo da superfície terrestre quando na condição de céu aberto. O MSU é um radiômetro composto de 4 canais, que realiza medidas na faixa de microondas na região de absorção do oxigênio em 5,5 cm. O SSU é um radiômetro com 3 canais situados na região de absorção do CO₂ em 15 μm, sendo sensíveis a níveis desde 1 hPa a 20 hPa de pressão. As Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 apresentam algumas características dos instrumentos HIRS/2, MSU e SSU respectivamente.

TABELA 3.1 - CARACTERÍSTICAS DO HIRS/2

Canais	λ central (μm)	Principal absorvedor	Região de máxima Contribuição (hPa)
1	15,00	CO ₂	30
2	14,70	CO ₂	60
3	14,50	CO ₂	100
4	14,20	CO ₂	400
5	14,00	CO ₂	600
6	13,70	CO ₂ /H ₂ O	800
7	13,40	CO ₂ /H ₂ O	900
8	11,10	Janela	Superfície
9	9,70	O ₂	25
10	8,30	H ₂ O	900
11	7,30	H ₂ O	700
12	6,70	H ₂ O	500
13	4,57	N ₂ O	1000
14	4,52	N ₂ O	950
15	4,46	CO ₂ /N ₂ O	700
16	4,40	CO ₂ /N ₂ O	400
17	2,24	CO ₂	5
18	4,00	Janela	Superfície
19	3,70	Janela	Superfície
20	0,70	Janela	Nuvem

FONTE: Adaptada de Smith et al. (1979, p. 1179).

TABELA 3.2 - CARACTERÍSTICAS DO MSU

Canais	Frequências (GHz)	Principal absorvedor	Região de máxima contribuição (hPa)
1	50,31	Janela	Superfície
2	53,73	O ₂	700
3	54,96	O ₂	300
4	57,95	O ₂	90

FONTE: Adaptada de Smith et al. (1979, p. 1179).

TABELA 3.3 - CARACTERÍSTICAS DO SSU

Canais	λ (μm)	Principal absorvedor	Região de máxima Contribuição (hPa)
1	15,0	CO ₂	15,0
2	15,0	CO ₂	4,0
3	15,0	CO ₂	1,5

FONTE: Adaptada de Smith et al. (1979, p. 1179).

A Figura 3.4 ilustra as funções peso normalizadas do sistema TOVS. Cada curva mostra a sensibilidade à radiação em função da pressão. Como exemplo, referenciando-se à curva do sensor 4 do HIRS/2, o máximo de contribuição da energia medida por este sensor provém do nível de pressão equivalente a 400 hPa.

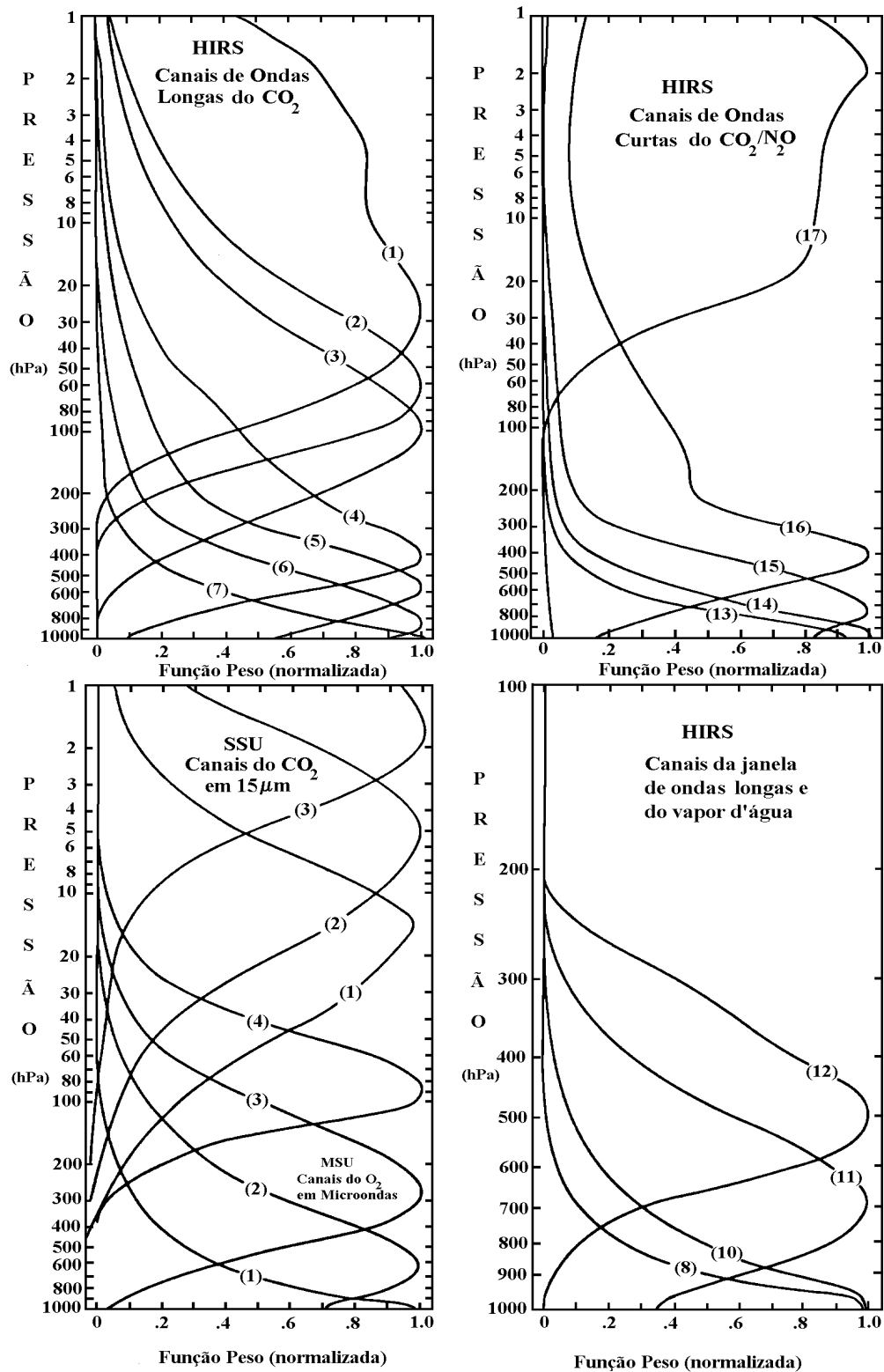


Fig. 3.4 - Função peso normalizada do TOVS.
 FONTE: Adaptada de Smith (1991, p. 278).

A Figura 3.5 ilustra um mosaico composto por 10 imagens referentes aos canais 1 a 10 do HIRS/2. Este mosaico foi derivado dos dados da passagem diurna do NOAA-12 do dia 07 de julho de 1997, onde as faixas escuras correspondem ao tempo em que foram realizadas as calibrações internas dos sensores. Pode ser observado através das imagens dos canais 2 ao 8 uma melhora progressiva em relação ao detalhamento da superfície terrestre. Isto está de acordo com a Figura 3.4, onde os valores máximos das respostas correspondentes às curvas destes canais deslocam-se em direção à superfície.

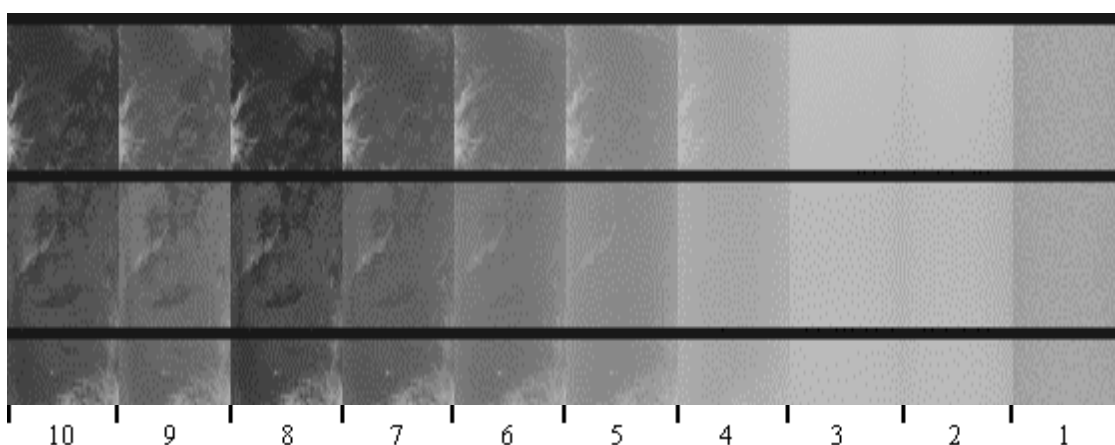


Fig. 3.5 – Mosaico ilustrando a costa leste do Brasil e adjacências derivada do HIRS/2, canais 1 a 10.

De acordo com a função peso, cada sensor apresenta uma finalidade específica. Para estimar o perfil de temperatura utiliza-se os canais de ondas longas 1 a 7 e os canais de ondas curtas 13 a 17 do HIRS/2, correspondentes à região de absorção do CO_2 e $\text{CO}_2/\text{N}_2\text{O}$ respectivamente. As principais aplicações dos canais HIRS/2 estão listadas na Tabela 3.4.

TABELA 3.4 - PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO HIRS/2

Canais	Aplicações
1 a 7 e 13 a 17	Sondagem de temperatura
5, 6 e 7	Altura e porcentagem de nebulosidade dentro do campo de observação do sensor (FOV)
8	Temperatura da superfície e detecção de nuvens
9	Concentração de ozônio
10, 11 e 12	Sondagem de vapor d'água
12	Detecção de camadas finas de cirros
18 e 19	Detecção de nuvens e temperatura da superfície em condições de céu parcialmente nublado
20	Detecção de nuvens

FONTE: Adaptada de Smith et al. (1979, p. 1179).

Os sensores do SSU são sensíveis à radiação emitida na estratosfera e, conseqüentemente, são utilizados para estimar as temperaturas desta região da atmosfera. Os canais 2 a 4 do MSU são utilizados para obter os perfis de temperaturas sob condições de nebulosidade, enquanto que o canal 1 do MSU é usado para inferir a emissividade da superfície e determinar a atenuação da radiação por nuvens. A Tabela 3.5 apresenta algumas especificações gerais dos sensores TOVS.

TABELA 3.5 - PARÂMETROS GERAIS DOS SENSORES TOVS

PARÂMETROS	HIRS/2	MSU	SSU
Ângulo máximo de varredura (grau)	49,5	47,4	40,0
Número de campos de visada por linha	56	11	8
Campo de visada angular (grau)	1,25	7,5	10,0
Resolução à superfície no nadir (km)	17,4	109,3	147,3
Resolução à superfície no final da linha (km)	58,5 / 29,9	323,1 / 178,8	244,0 / 186,1
Largura da varredura (km)	1120	1174	737

FONTE: Adaptada de Werbowetzki (1981, p. 25-27).

3.3 - INCORPORAÇÃO DO AVHRR

Existem duas principais razões que motivaram a incorporação dos dados AVHRR ao modelo ITPP (Smith et al., 1993). Uma delas é a identificação das regiões em que as sondagens não podem ser obtidas com uma precisão razoável, e em particular, a eliminação das situações com multi-camadas de nebulosidade. A segunda é a discriminação das áreas cobertas parcialmente por uma simples camada de nuvens, em que as informações do AVHRR poderão ser utilizadas para a calibração dos dados HIRS/2.

Neste trabalho são aplicados dois tipos de processamento aos dados AVHRR através do aplicativo ITPP5.0. A técnica da análise da coerência espacial é usada para a

identificação de possíveis partes quentes ou frias, dentro de cada campo de observação do sensor (Field Of View - FOV). Posteriormente, através de uma análise de regressão, estas áreas poderão confirmar a condição de nebulosidade parcial e corrigir as temperaturas de brilho do HIRS/2 em função da porcentagem de nebulosidade da região selecionada.

Através da técnica da coerência espacial (Coakley e Bretherton, 1982), as radiâncias derivadas do AVHRR, pertencentes a um mesmo campo de observação do sensor HIRS/2, são subdivididas em matrizes compostas por 3x3 elementos, onde são calculadas as médias e os desvios padrões de cada uma destas células. Através de um diagrama entre esses valores pode-se detectar a presença de qualquer uniformidade dentro do FOV. Um FOV completamente limpo de nuvens ou nublado, apresentará um grupo de pontos com mesma média e baixo desvio padrão. Por outro lado, um FOV com uma formação de nuvens fracionadas de natureza uniforme, mostrará duas distintas concentrações de pontos de baixos desvios mas com diferentes médias, sendo conectadas através de um extenso arco com desvios padrões elevados. A Figura 3.6 ilustra este último caso, obtido com os dados do canal 4 do AVHRR, localizado próximo à 11 μm , dentro de um determinado FOV do HIRS/2. O grupo com radiância média menor, corresponde a uma região de temperatura mais baixa (área fria), enquanto que o grupo com radiância média maior está a uma temperatura mais elevada (área quente). Os pontos que compõem o arco representam regiões dentro do FOV com cobertura de nuvens variadas.

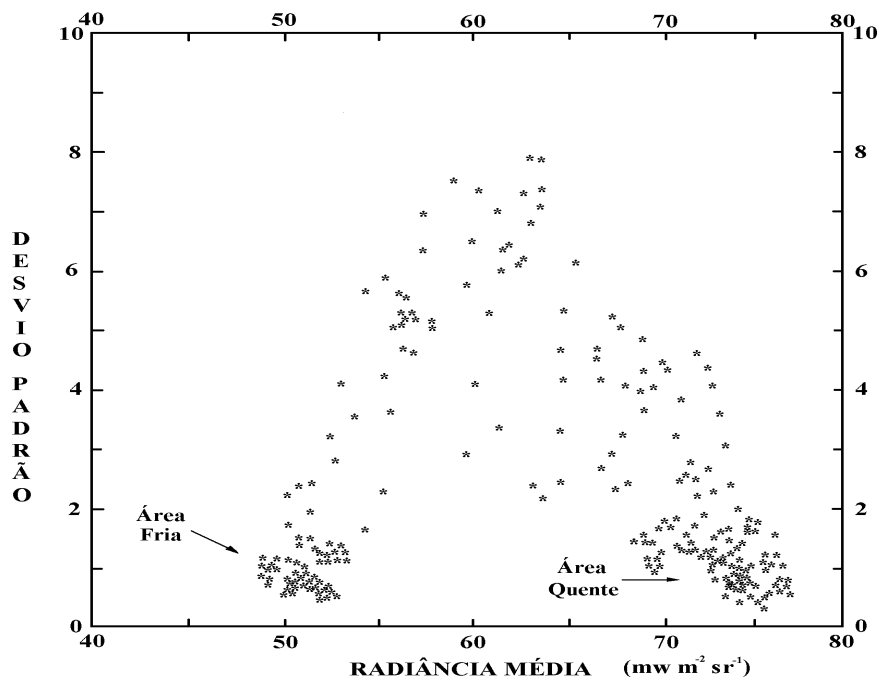


Fig. 3.6 – Diagrama de Coakley para um FOV do HIRS/2.
 FONTE: Adaptada de Smith et al. (1993, p. 451).

O algoritmo usado pelo ITPP5.0, de acordo com Smith et al. (1993), utiliza os resultados da análise do pré-processamento realizado com todos os FOV do HIRS/2 (arquivo avh9999.dat, citado no Capítulo 4), para ajudar no mecanismo de detecção de nuvens e cálculo da radiância de céu limpo.

O processo de decisão para a classificação da cena é realizado mediante a análise da temperatura de brilho do canal 8 do HIRS/2, alocado na janela atmosférica em 11 μm e uma série de testes utilizando tanto os dados HIRS/2 como os AVHRR. Estes testes são semelhantes aos utilizados em versões anteriores do ITPP, contudo com um maior poder de decisão em razão da maior resolução espacial dos dados AVHRR. Também são utilizados informações do perfil inicial e das temperaturas superficiais, derivadas dos dados HIRS/2 e AVHRR. O FOV é classificado como limpo (TIPO 1), caso sejam obedecidas as sete condições a seguir:

- 1) A média da temperatura de brilho do canal 3 do AVHRR para a área quente quente do FOV, não exceda a temperatura de brilho para a mesma área do canal 4 do AVHRR;
- 2) A temperatura da superfície derivada do AVHRR para as áreas quentes dentro do domínio da sondagem (janela de 3x3 pixel HIRS/2 ao redor do HIRS/2 central analisado), seja até dez graus mais fria que a temperatura da superfície do perfil estimado;
- 3) O albedo médio para a área quente inferido através dos canais 1 e 2 do AVHRR seja inferior a 0,25 durante o dia;
- 4) A medida do albedo para o canal 20 do HIRS/2 seja menor que 0,25 durante o dia;
- 5) A média da temperatura de brilho da área quente derivada do canal de 3 do AVHRR seja até 4 °C menor que a temperatura superficial obtida do AVHRR durante a noite;
- 6) A temperatura de brilho do canal 19 do HIRS/2 seja até 4 °C menor que a temperatura superficial derivada dos dados HIRS/2 durante a noite;
- 7) As temperaturas superficiais derivadas do HIRS/2 e AVHRR não difiram mais que 2 °C.

Caso algum dos itens anteriores seja falso, a cena é considerada coberta por nuvens, e os testes posteriores irão classificar quanto ao padrão de cobertura das nuvens.

Inicialmente, através da técnica proposta por Smith e Platt (1978) e Menzel et al. (1983), é avaliada a fração de cobertura e a altura das nuvens dentro de um FOV dos dados HIRS/2. Esta técnica utiliza os canais do HIRS/2 da região de absorção do CO₂, sensíveis à diferentes alturas da atmosfera, e o canal 8, cujo máximo de radiação provém próximo da superfície.

Como resultado desta técnica, se a fração de cobertura for nula ou a altura das nuvens corresponder a da superfície, a cena é considerada como provavelmente limpa. A fim de

que este FOV possa ser reclassificado como limpo, é necessário que a temperatura de brilho da área quente seja equivalente tanto à temperatura média quanto à temperatura da área fria, ou ainda que o cálculo da porcentagem de nebulosidade (N^*), apresentado posteriormente, não seja encontrado dentro do domínio da sondagem.

Prosseguindo com os testes, caso a diferença entre as temperaturas superficiais derivada do HIRS/2 e do AVHRR seja menor que 4 °C, o FOV é classificado como nuvens uniformemente distribuídas (TIPO 4). Por outro lado, se os dois testes anteriores não forem verdadeiros, e na análise da coerência espacial não forem encontradas áreas quentes ou frias, o FOV é classificado como tendo multi-camadas de nebulosidade (TIPO 3). Na hipótese dos três testes anteriores serem falsos, a cena é declarada como parcialmente coberta (TIPO 2), e os valores das radiâncias dos sensores HIRS/2 deverão ser corrigidos.

Sendo assim, com a incorporação dos dados AVHRR, os perfis são gerados mediante cinco procedimentos definidos pelo padrão de cobertura de nuvens, sendo que o TIPO 5 refere-se às sondagens, obtidas utilizando as informações do MSU, devido a situação de céu coberto por nuvens. Estes tipos de classificação são:

- 1) limpo (TIPO 1);
- 2) parcialmente coberto (TIPO 2);
- 3) multi-camadas de nebulosidade (TIPO 3);
- 4) nebulosidade uniforme (TIPO 4);
- 5) estratosférica (TIPO 5).

Para a correção da radiância em condições de nebulosidade parcial (TIPO 2), é utilizada a formulação N^* (Smith e Woolf, 1976), onde os FOV adjacentes são considerados para o cálculo da fração de cobertura. Após o cálculo desta cobertura é possível utilizar uma

segunda equação para a correção desta radiação. A Equação 3.6 calcula a porcentagem de cobertura, enquanto a Equação 3.7, o valor da radiância corrigida para cada canal do HIRS/2.

$$N^* = \frac{N_1}{N_2} \cong \frac{I_1(w) - Iclr(w)}{I_2(w) - Iclr(w)} \quad (3.6)$$

$$Iclr(v) = \frac{I_1(v) - N^* I_2(v)}{1 - N^*} \quad (3.7)$$

Nas Equações 3.6 e 3.7, v é o canal selecionado, w é o canal da janela atmosférica (3,7 μm ou 11,1 μm), N é a fração de cobertura de nuvens, I é a radiância do canal do HIRS/2, $Iclr(w)$ é a radiância correspondente ao sinal da região, sem nebulosidade classificada pelos dados AVHRR, e os subscritos **1** e **2** referem-se aos FOV vizinhos adjacentes.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

4.1 - O MODELO ITPP5.0

O ITPP5.0 é um pacote computacional que permite inferir perfis verticais de temperatura e umidade, através do processamento de observações dos sensores HIRS/2 e MSU do TOVS. Estas informações são transmitidas pelo satélite NOAA, multiplexadas com os dados dos sensores AVHRR, além de outros dados pertinentes à missão do satélite. O arquivo que contém os dados do sistema TOVS é designado pelo modelo como `tovstipi.dat`. Este arquivo tem o formato original dos dados TIROS Information Processor (TIP). Além das informações referentes aos sensores TOVS, possui dados de telemetria, sincronização, identificação, hora e de outros sistemas a bordo do satélite. A descrição detalhada desse formato encontra-se no memorando técnico da NOAA NESS 107, “Data Extraction and Calibration of TIROS-N/NOAA Radiometers”, de novembro de 1979.

A Figura 4.1 apresenta o fluxograma da versão 5.0 do ITPP utilizada para o processamento do TOVS, onde os módulos denotados com o caracter ‘*’ não compõem o pacote original e foram desenvolvidos para viabilizar a utilização de dados de modelo numérico, dados de superfície e dados de imagens. A seguir é fornecida uma breve descrição dos principais módulos e suas respectivas atribuições:

- `Preinw` : é o módulo de entrada do modelo, onde ocorre o processamento do arquivo `tovstipi.dat`. As medidas referentes a uma mesma posição geográfica das observações dos sensores HIRS/2 e MSU são lidas deste arquivo e gravadas seqüencialmente nos arquivos [`hirstipo.dat`] e [`msustipo.dat`], respectivamente. Além das informações dos sensores também são gravados os dados referentes ao tempo de coleta, necessários à navegação;

- Ingtow: processa os arquivos [hirstipo.dat] e [msustipo.dat] independentemente, transformando os valores digitais dos canais 1 a 19 do HIRS/2 em temperaturas de brilho, o canal 20 em radiância e os quatro sensores do MSU em temperatura de antena. Os valores dos sensores processados são gravados nos arquivos [hirsingo.dat] e [msusingo.dat];
- Tovprw: acessa os dois arquivos de saída do programa <ingtow>, e cria um arquivo com o propósito de visualização [tovsorb(a..z).dat], e outro com a finalidade de geração dos perfis verticais [tovsnd(a..z).dat]. A estrutura do arquivo [tovsorb(a..z).dat] encontra-se separada por canais, o que facilita a sua visualização. Por outro lado, o [tovsnd(a..z).dat] reagrupa todos os valores processados, de uma mesma posição geográfica em um mesmo registro, o que facilita a geração dos perfis verticais;
- Tovrew: processa o arquivo [tovsnd(a..z).dat] com o propósito de gerar os perfis verticais de temperatura. Também calcula como resultado a altura geopotencial, o ozônio integrado da atmosfera, o fluxo de onda longa no topo da atmosfera, entre outros. Estes dados são gravados no arquivo de saída denominado [tovsret(a..z).dat].

canais HIRS/2 são corrigidas, se necessárias, pelo uso das informações AVHRR. Finalmente as radiâncias resultantes dos canais HIRS/2 são aplicadas ao perfil, resultando nos perfis verticais de saída.

O módulo <tovw> possibilita várias opções de processamento dos dados TOVS. Segundo a CIMSS é recomendável principalmente a utilização de informações sobre a temperatura da superfície (arquivo sfc9999.dat), além do uso de perfis obtidos de modelos numéricos (arquivo ges9999.dat), como também informações de imagens oriundas de dados do AVHRR (arquivo avh9999.dat). Os programas que contemplam as montagens destes arquivos auxiliares não fazem parte do modelo, e portanto, foram desenvolvidos para viabilizar o uso desses arquivos pelo ITPP5.0.

De acordo com a utilização ou não de informações complementares, como entrada do módulo <tovw>, os resultados finais dos perfis verticais serão diferentes. Está comprovado historicamente que o uso de dados da superfície terrestre melhora a qualidade das sondagens. A inclusão de dados de modelos de previsão numérica de tempo como informações do AVHRR, também podem aprimorar a qualidade dos perfis verticais.

4.2 - GERAÇÃO DOS ARQUIVOS AUXILIARES

As adaptações necessárias para a introdução das informações de superfície terrestre são realizadas pelo programa <gerasup>. Este módulo extrai os valores de T (temperatura) e T_d (temperatura do ponto de orvalho) referentes ao nível de 1000 hPa, do arquivo de previsão do modelo Global, do horário mais próximo da passagem do satélite disponível no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), e cria o arquivo sfc9999.dat segundo o guia do usuário do ITPP5.0. O ideal seria a utilização de dados observacionais, mas na sua indisponibilidade usou-se os dados da previsão, considerando os valores referentes ao nível de 1000 hPa como sendo da superfície.

A introdução de dados dos perfis verticais ('first guess') é obtida através do arquivo [ges9999.dat]. Este arquivo é gerado pelo programa <geraper>, de acordo com o guia do usuário do ITPP5.0, onde as informações de T e T_d referentes aos vários níveis de pressão são extraídas do arquivo de previsão do modelo Global do CPTEC.

Em relação à incorporação das informações de imagens, o modelo ITPP5.0 dispõe do programa <collac>, que através da leitura dos arquivos, [imag9999] e [hirs9999] preparado pelo usuário, gera o arquivo [avh9999.dat]. Este arquivo de saída é utilizado como entrada do <tovrew> quando da inferência dos perfis verticais. Sendo assim, é necessário gerar estes dois arquivos de acordo com o guia do usuário do ITPP5.0.

O arquivo auxiliar [hirs9999] deve conter as temperaturas de brilho dos canais infravermelho e o albedo do canal visível dos sensores HIRS/2. Por sua vez, o programa <ingtow>, quando do processamento dos dados digitais do HIRS/2, converte os valores digitais dos canais infravermelhos para temperatura de brilho e do canal visível para radiância. Acrescentou-se portanto ao programa <ingtow> uma equação para transformar apenas o valor digital do canal visível para albedo, cujo valor é gravado em uma posição disponível do arquivo [hirsingo.dat]. O programa <gerahirs> lê o arquivo [hirsingo.dat] e gera o arquivo com as informações dos sensores HIRS/2 no arquivo [hirs9999].

A conversão do valor digital (v) do canal 20 do HIRS/2 para albedo (S) utilizado pelo programa <ingtow> é uma equação de segundo grau descrita por Kidwell (1991). Normalmente, o termo de segunda ordem é desprezado, resultando em uma equação de primeiro grau, conforme expressa pela Equação 4.1. Os valores das constantes são fornecidos no apêndice B do NOAA Technical Memorandum 107, e os valores atuais para os satélites NOAA 12 e 14 estão listados na Tabela 4.1.

$$S = G v + II \tag{4.1}$$

TABELA 4.1 - VALORES DE CONVERSÃO DO CANAL 20 DO HIRS/2

SATÉLITE	G (% albedo/valor digital)	II (% albedo)
NOAA-12	0,000212	0,007291
NOAA-14	0,000268	0,005273

FONTE: Adaptada de NOAA (1997 a, b).

O arquivo [imag9999] é constituído basicamente pelas radiâncias referentes às cinco bandas espectrais do AVHRR e pela temperatura do corpo negro interno do satélite. Os valores digitais dos sensores, que possibilitam gerar este arquivo, compõem o formato HRPT (High Resolution Picture Transmission) do sinal transmitido pelo satélite. A Figura 4.2 ilustra uma seqüência deste formato.

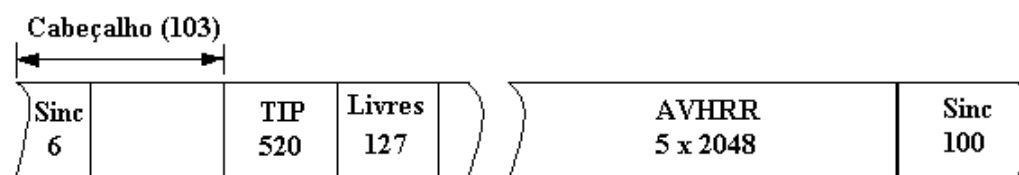


Fig. 4.2 – Formato HRPT.

FONTE: Adaptada de Planet (1988, p.18).

Uma linha deste formato é composta de 11090 palavras de 10 bits sendo 103 de cabeçalho, 520 com os dados TIP, 127 reservadas, 10240 com as informações das 5 bandas espectrais multiplexadas e 100 de sincronismo.

A temperatura de corpo negro é obtida através das medidas de quatro termopares fixados sobre uma superfície de calibração interna do satélite. A cada seqüência de cinco linhas é transmitida na posição 18 do cabeçalho, as quatro medidas dos termopares e uma de referência para sincronismo das leituras. Segundo Planet (1988), a

temperatura de corpo negro é a média aritmética das temperaturas inferidas pelos quatro termopares. A temperatura para um dado termopar é expressa por:

$$T = A_0 + A_1 v + A_2 v^2 + A_3 v^3 + A_4 v^4, \quad (4.2)$$

onde A_n é a constante de índice n , e v o valor digital da medida. Os valores destas constantes, segundo o apêndice B do NOAA Technical Memorandum 107, tanto para o NOAA-12 quanto para o NOAA-14 são: $A_0 = 276,597$, $A_1 = 0,051275$, $A_2 = 1,363 \times 10^{-6}$ e $A_3 = A_4 = 0,0$.

As informações das imagens do AVHRR referentes aos canais 1 e 2 devem ser convertidas para albedo e aos canais 3, 4 e 5 para radiância. A conversão dos canais 1 e 2 é obtida através de uma relação linear expressa por:

$$A = G v + II, \quad (4.3)$$

onde A é o albedo, v é o valor digital da medida, G e II são as constantes de calibração dos sensores apresentados pela Tabela 4.2.

TABELA 4.2 - CONSTANTES DE CALIBRAÇÃO DOS CANAIS 1 E 2

Satélite	Canal	G (% albedo / valor digital)	II (% albedo)
NOAA-12	1	0,1042235	-4,4490805
NOAA-12	2	0,1014400	-3,9925614
NOAA-14	1	0,1115	-4,5715
NOAA-14	2	0,1337	-5,4817

FONTE: Adaptada de NOAA (1997 a, b).

A conversão dos canais 3, 4 e 5 para radiância são feitas segundo a relação:

$$N_j = M_j v_j + K_j \quad (4.4)$$

onde o índice j refere-se aos canais 3 a 5 do AVHRR, N_j é a radiância expressa em $\text{mw} / (\text{m}^2 \text{ st cm})$, v_j o valor digital da medida, M_j e K_j as constantes de calibração dos sensores. Estas constantes são obtidas através do processo de calibração a bordo do satélite, que consiste na medida da radiação emitida tanto pelo corpo negro interno do satélite quanto pelo espaço livre e inferidas através dos sensores dos canais 3 a 5, cujas leituras digitais compõem o cabeçalho dos dados HRPT. As constantes M_j (unidades de radiância / valor digital) e K_j (unidades de radiância) são calculadas pelas seguintes expressões respectivamente:

$$M_j = (N_{Tj} - N_{SP}) / (X_{Tj} - X_{SPj}) \quad (4.5)$$

$$K_j = N_{SP} - M_j X_{SPj}, \quad (4.6)$$

onde j refere-se aos canais 3 a 5 do AVHRR, N_{Tj} é a radiância inferidas quando o sensor j observa o corpo negro, N_{SP} é a radiância do espaço livre, X_{Tj} e X_{SPj} são as médias dos valores digitais das medidas feitas pelos sensores, das radiâncias do corpo negro e do espaço respectivamente.

Conhecendo-se a temperatura de corpo negro calculada através da média entre as temperaturas dos termopares, calcula-se a radiância emitida no intervalo espectral dos canais 3 a 5 (N_{Tj}) utilizando-se a lei de Planck e a curva normalizada de resposta de cada canal em função do comprimento de onda. O valor da radiância do espaço livre (N_{SP}) é considerado como sendo nulo. Por intermédio do programa <geraima>, no qual foram implementadas estas equações, cria-se o arquivo [imag9999]. Uma outra função

deste programa é a extração dos dados TIP do arquivo HRPT para criar o arquivo [tovstipi.dat].

4.3 - APLICAÇÃO DO ITPP5.0

O pacote ITPP5.0 é composto de vários programas desenvolvidos em linguagem Fortran, para ser executado em estação de trabalho 'UNIX', compatível com os equipamentos da 'SUN'. As novas rotinas desenvolvidas visando a incorporação dos arquivos auxiliares também se encontram na mesma linguagem. Seleccionadas as passagens do satélite NOAA-14, do período da tarde dos dias 14/10/97 a 16/10/97, com todas as informações dos dados HRPT, executou-se os programas do pacote conforme a seqüência indicada pelo fluxograma da Figura 4.1. O módulo final <tovwrew> foi processado utilizando a opção de alta resolução para a topografia (18,5 Km), parâmetro de seleção de linha/elemento 3x3 e a geração das sondagens apenas com os dados do HIRS/2. A estimativa inicial do perfil foi inicializada através de coeficientes de regressão internos ao modelo, ou através dos valores de temperaturas do perfil obtido da previsão do modelo Global do CPTEC, incorporando ou não os dados de superfície e AVHRR. Resumidamente, ocorreu o processamento do módulo <tovwrew> mediante cinco alternativas distintas, a saber:

- a) Regressão;
- b) Regressão + informações AVHRR;
- c) Regressão + superfície;
- d) Regressão + superfície + informações AVHRR;
- e) Previsão + superfície + informações AVHRR.

Através do processamento dos dados TOVS, para uma passagem do satélite, é possível obter em torno de 400 sondagens para uma amostragem de 3x3 quando do processamento dos dados dos sensores. As sondagens resultantes para cada uma das alternativas são armazenadas no arquivo de saída <tovsrew(a..z).dat> que, além dos

valores dos perfis verticais de temperatura, contém entre outras informações a identificação da posição geográfica da sondagem e o código de classificação quanto ao padrão de nebulosidade, que pode variar entre o TIPO 1 ao TIPO 4. Este arquivo é a fonte de dados para a análise dos resultados do capítulo seguinte.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1 – COBERTURA DE NUVENS: ANÁLISE PRELIMINAR

Neste capítulo são apresentados os resultados das sondagens inferidas através dos dados TOVS, para a passagem do satélite NOAA-14 do horário 17:20 GMT do dia 15 de outubro de 1997. Estes dados foram processados sob diferentes opções de processamento do modelo ITPP5.0, utilizando ou não as informações de imagens AVHRR. É realizada uma análise da classificação quanto ao tipo de cobertura de nuvens atribuídas às sondagens para as diversas opções, como também em relação aos padrões de perfis verticais de temperatura. Os resultados apresentados referem-se apenas a uma passagem, em razão da semelhança de comportamento para outras passagens do NOAA-14 na mesma época considerada.

A Figura 5.1 ilustra a imagem do canal 1 (visível) do AVHRR da passagem do NOAA-14 no dia 15/10/97, que abrange a região sul do Brasil e parte do oceano Atlântico Sul. Pelas características deste canal, as áreas mais claras correspondem a valores maiores de albedo, enquanto que as mais escuras estão associadas às regiões de céu claro e a baixa refletividade. No caso de nuvens convectivas a refletividade está associada ao seu grau de desenvolvimento vertical e assim, as nuvens cumulonimbus apresentam valores elevados de albedo.

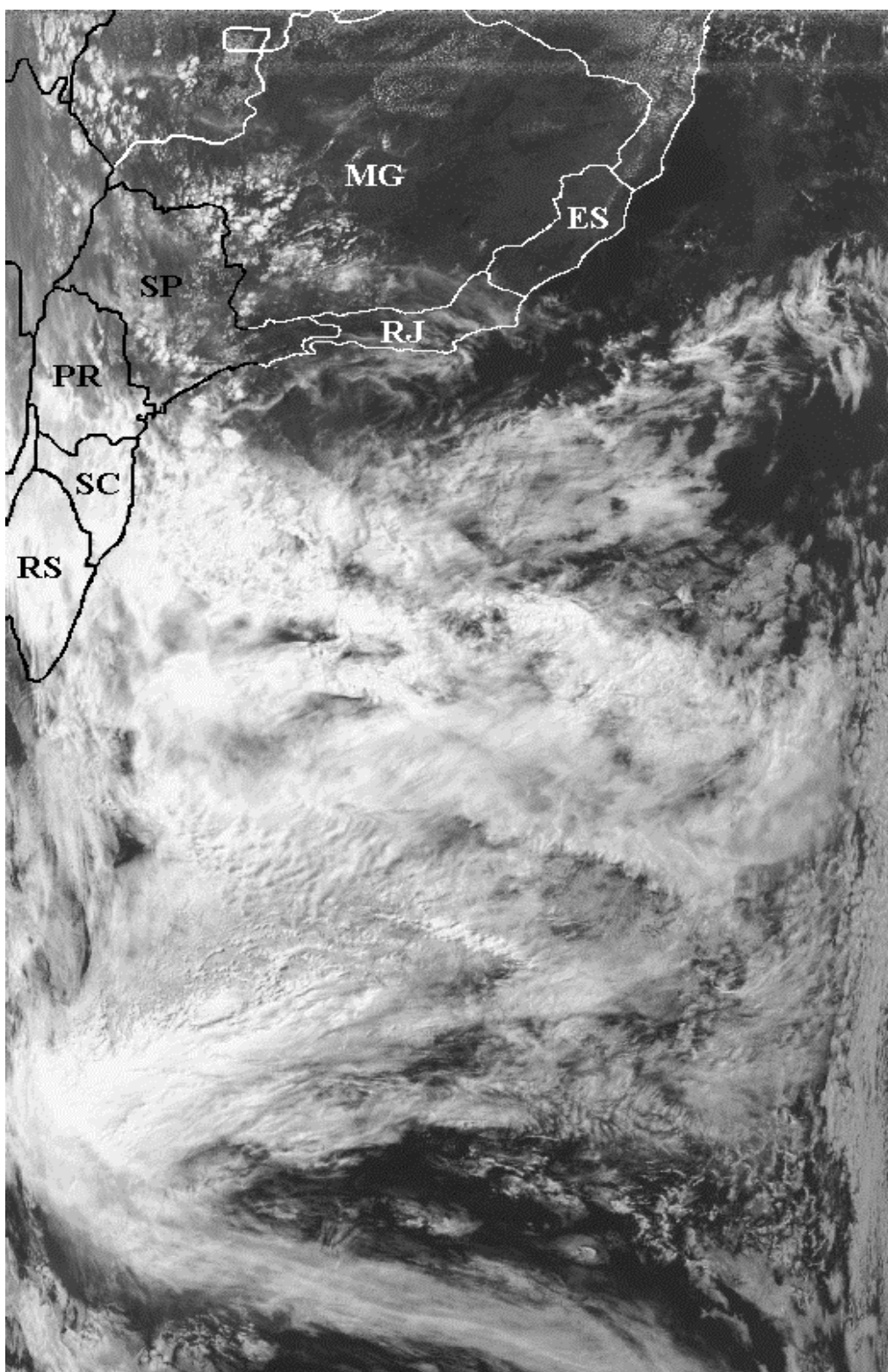


Fig. 5.1 - Imagem da região sul do Brasil e parte do oceano Atlântico Sul obtida com o satélite meteorológico NOAA-14, canal 1, dia 15/10/97, hora 17:20 GMT.

Sob as condições de inicialização do módulo <Tovrew> do ITPP5.0 descritas no capítulo anterior, uma passagem do satélite gera em média quatrocentos perfis verticais de temperatura e umidade. Para cada um destes perfis é associado um padrão de nebulosidade, cuja classificação influenciará ou não na utilidade dos mesmos. Para ilustração, a Figura 5.2 apresenta um setor da imagem da Figura 5.1 (leste do Estado de São Paulo e adjacências) com os locais onde foram obtidas as sondagens pelo modelo ITPP5.0, referenciados através de números. Os tipos de coberturas estão vinculados aos números, ou seja, TIPO 1 equivale ao número um, TIPO 2 ao dois, TIPO 3 ao três e TIPO 4 ao quatro. Estas sondagens foram inferidas utilizando as informações do AVHRR e a opção regressão para estabelecer os perfis iniciais das sondagens.

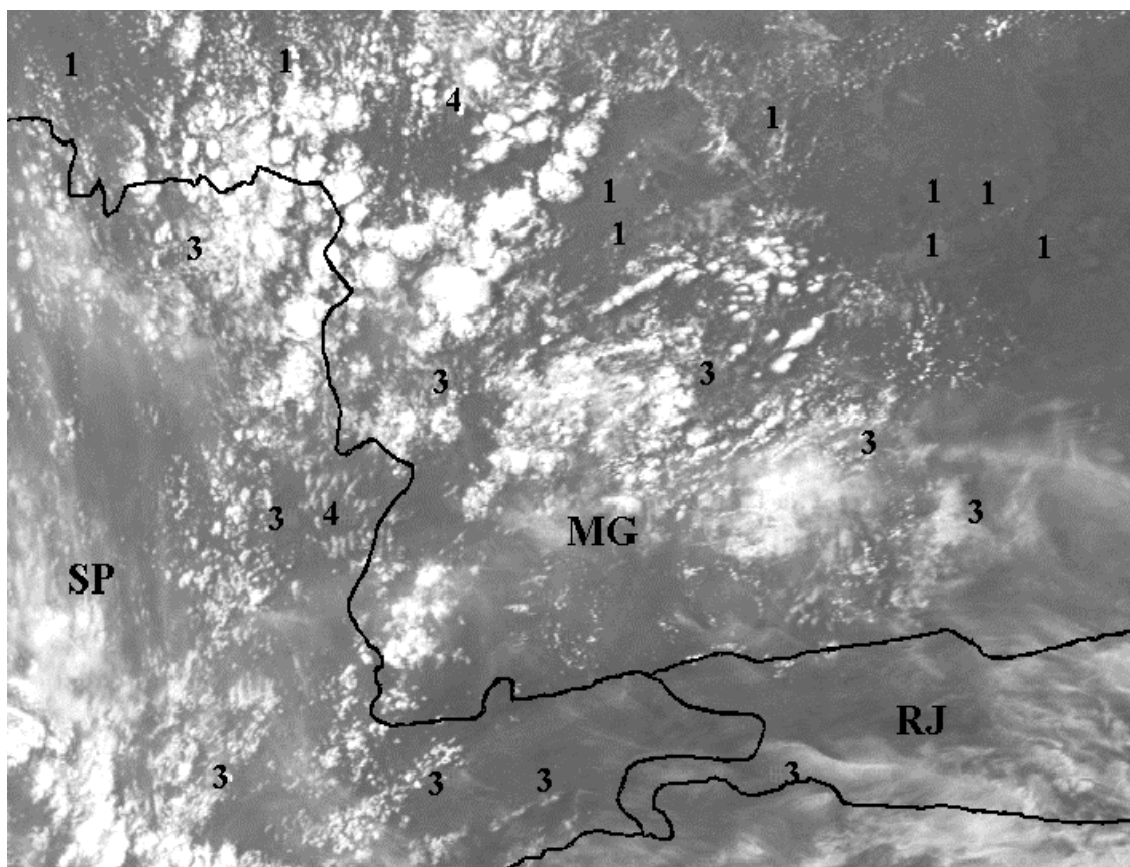


Fig. 5.2 - Setor da imagem da Figura 5.1 mostrando a distribuição das sondagens inferidas utilizando a opção regressão com dados AVHRR.

Para analisar o desempenho do ITPP5.0 quanto ao tipo de cobertura de nuvens associado às sondagens, são construídos gráficos com as médias dos valores digitais encontrados nas cinco bandas espectrais do AVHRR, para o mesmo campo de observação dos sensores do HIRS/2 (FOV). Como a resolução aproximada do HIRS/2 é de 20 Km e a dos sensores AVHRR é de 1 Km, calcula-se a média dos valores digitais numa janela de tamanho 20x20 pixels, cuja latitude/ longitude central corresponde à mesma da sondagem. Este procedimento é apresentado na Figura 5.3, onde um ‘pixel’ do HIRS/2 está representado através de 400 ‘pixels’ do AVHRR. Paralelamente são montadas tabelas com a estatística destes valores médios digitais e dos valores convertidos, para albedo nos canais 1 e 2 e temperatura nos canais 3 a 5.

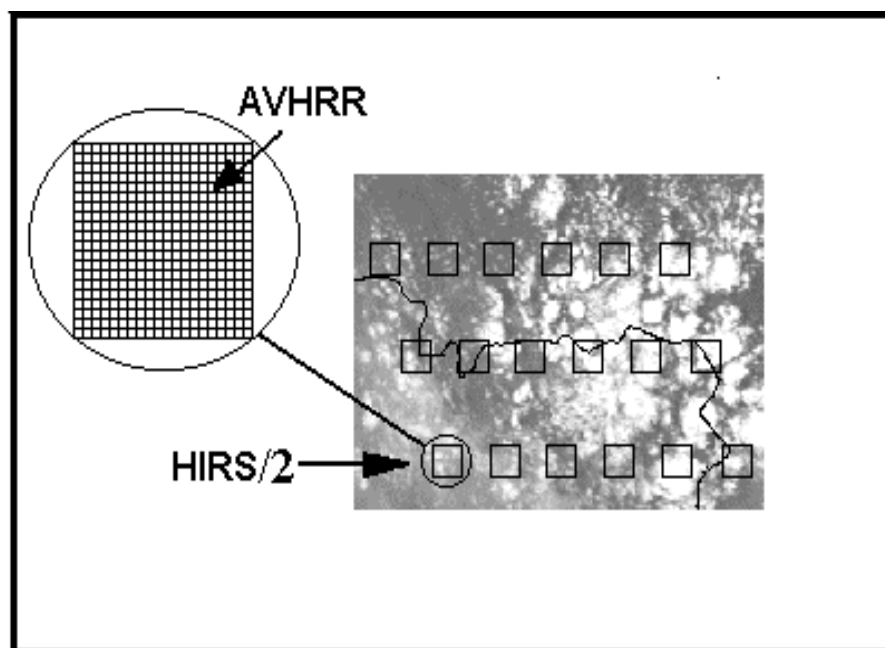


Fig. 5.3 – Ilustração da técnica de extração de dados AVHRR/ HIRS/2.

Outro procedimento é utilizado para analisar os resultados da classificação realizada pelo ITPP5.0 em relação ao tipo de cobertura de nuvens. Trata-se dos mosaicos de imagens dos canais 1 e 5 do AVHRR, compostos dos valores digitais compreendido por 20x20 pixels correspondentes aos locais onde foram inferidas as sondagens. Nos

mosaicos das imagens do canal visível, os tons mais escuros correlacionam-se com os menores valores de albedo e os tons mais claros aos maiores valores de albedo. Por outro lado, para os mosaicos das imagens do canal infravermelho, os tons mais claros correspondem às temperaturas frias e os mais escuros às temperaturas quentes.

Para a elaboração dos gráficos e tabelas apresentados neste capítulo, utilizou-se imagens do AVHRR com resolução de 8 bits, o que justifica os valores médios digitais serem inferiores a 255. A seguir são apresentados os resultados das diferentes alternativas utilizadas quando do processamento do modelo.

5.2 – REGRESSÃO E REGRESSÃO + AVHRR.

A opção básica utilizada pelo modelo ITPP5.0 para a obtenção dos perfis verticais de temperatura, quando o usuário não fornece nenhuma informação adicional que possibilite aprimorar a qualidade das sondagens, é o uso dos coeficientes de regressão internos ao modelo. Em relação ao padrão de nebulosidade, as sondagens podem ser associadas a dois tipos de classificação, a saber: céu limpo ou nebulosidade uniforme.

Para a passagem do dia 15/10/97, 17:20 Z, utilizando a opção regressão obteve-se 425 sondagens, das quais 50 foram classificadas como sem cobertura de nuvens e 375 como nebulosidade uniforme. A Figura 5.4 apresenta as 50 sondagens associadas ao TIPO 1 e as suas respectivas médias digitais referentes aos canais do AVHRR, enquanto que a Figura 5.5 mostra as sondagens classificadas como TIPO 4.

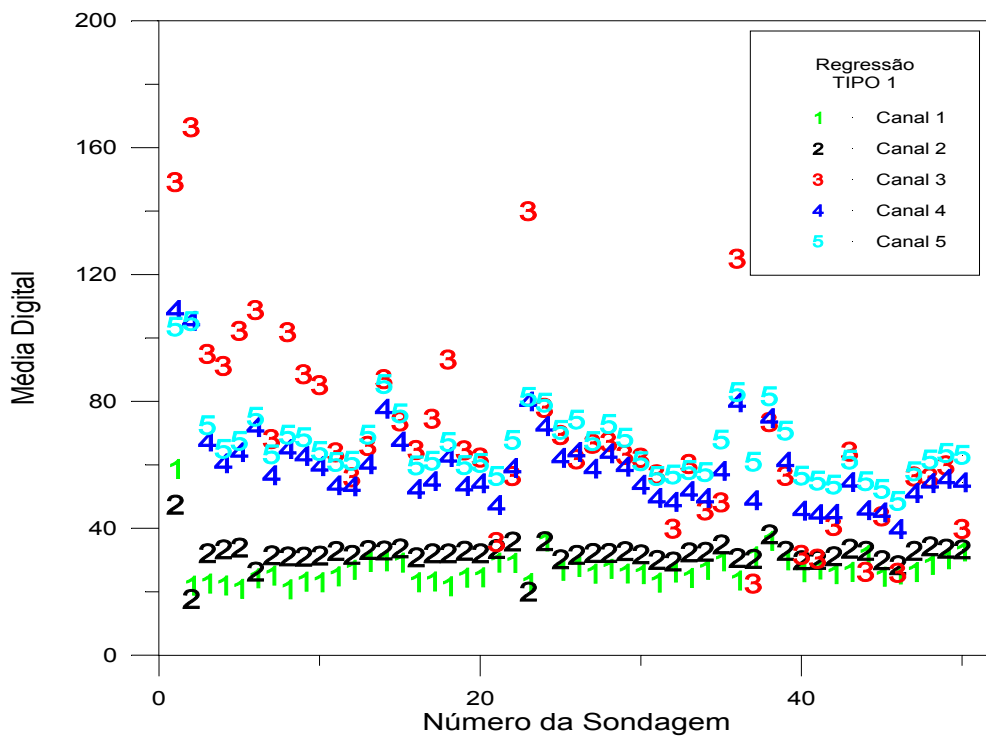


Fig. 5.4 - Média digital dos cinco canais AVHRR para o mesmo campo de visada das 50 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção regressão.

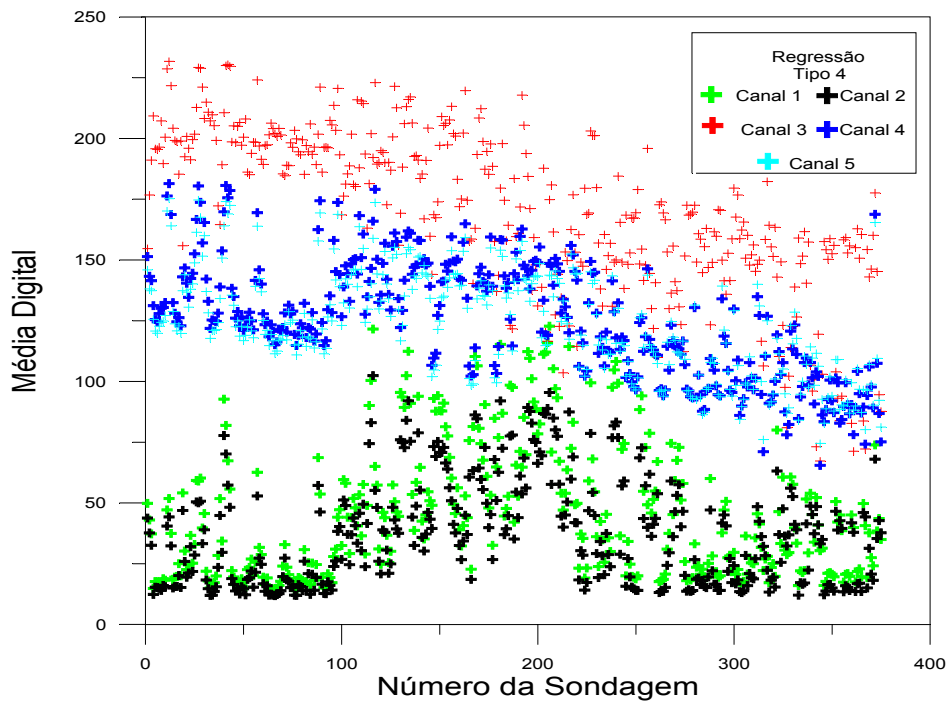


Fig. 5.5 - Média digital dos cinco canais AVHRR para o mesmo campo de visada das 375 sondagens classificadas como TIPO 4/ opção regressão.

A Tabela 5.1 apresenta os valores médios dos cinco canais do AVHRR (C1 a C5) referentes aos locais das sondagens da Figura 5.4 e os seus respectivos valores convertidos para albedo (A1 e A2) para os canais 1 e 2 e temperatura (T3 a T5) para os canais infravermelhos. A Tabela 5.2 apresenta esta mesma estatística para as sondagens classificadas como TIPO 4 da Figura 5.5.

TABELA 5.1 - ESTATÍSTICA DOS CANAIS AVHRR PARA AS 50 SONDAgens
TIPO 1/ REGRESSÃO

	C1	C2	C3	C4	C5	A1 (%)	A2 (%)	T3 (K)	T4 (K)	T5 (K)
Média	26,97	31,95	69,30	59,75	66,80	7,45	11,60	313,4	304,1	300,3
Desvio padrão	5,76	3,96	30,66	13,53	11,44	2,57	2,12	5,10	5,12	4,80
Mín.	20,74	17,71	22,54	39,75	48,59	4,67	3,99	294,5	284,8	283,6
Máx.	58,68	47,45	166,4	108,8	105,2	21,60	19,88	320,0	311,2	307,6

TABELA 5.2 - ESTATÍSTICA DOS CANAIS AVHRR PARA AS 375 SONDAgens
TIPO 4/ REGRESSÃO

	C1	C2	C3	C4	C5	A1 (%)	A2 (%)	T3 (K)	T4 (K)	T5 (K)
Média	44,86	37,20	170,3	125,0	122,8	15,44	14,41	291,4	276,9	274,6
Desvio padrão	27,04	21,85	33,40	23,77	21,36	12,06	11,68	10,39	11,30	10,91
Mín.	13,93	11,86	67,23	61,47	74,48	1,64	0,86	260,5	246,4	244,8
Máx.	122,7	102,4	231,7	181,4	175,2	50,16	49,29	314,1	302,1	297,2

Em geral o modelo ITPP5.0 utilizando a opção regressão, classifica de forma aceitável o tipo de nebulosidade presente na região da sondagem. Dentro de certos padrões, as áreas de baixa temperatura e albedo elevados são classificadas como nubladas enquanto que as situações inversas são classificadas como de céu limpo. Entretanto, como pode ser observado na Figura 5.5, ao contrário do esperado, existem várias sondagens TIPO 4, cujos valores de albedo situam-se abaixo do valor médio das sondagens TIPO 1 (7,45% para o canal 1 e 11,60% para o canal 2). Todavia, os valores correspondentes às temperaturas para os mesmos pontos são inferiores às temperaturas das sondagens classificadas como TIPO 1, sugerindo que o modelo pondera mais as informações dos canais infravermelho do HIRS/2 do que a do canal do espectro visível (canal 20 do HIRS/2). Em síntese, em locais com baixos valores de albedo e temperatura, indicando ausência de nuvens pelo canal visível, o modelo ITPP5.0 considera-os como nublados, provavelmente influenciado pela temperatura.

Através do processo de navegação observou-se que os pontos de menores albedos classificados como TIPO 4 referem-se a regiões oceânicas, que em situações de céu limpo caracterizam-se por albedo baixo no canal 1 e ainda menor no canal 2, de acordo com a resposta espectral da água. Estes pontos provavelmente deveriam ser reclassificados como TIPO 1 visto que tratam de regiões sem nebulosidade, apesar das temperaturas serem inferiores àquelas apresentadas pela Figura 5.4. Para evidenciar tal situação é apresentada na Tabela 5.3 a estatística de 38 sondagens classificadas como TIPO 4, enquanto a Figura 5.6 mostra os mosaicos destas áreas para os canais 1 e 5 do AVHRR, evidenciando a ausência de nebulosidade e um provável erro de classificação.

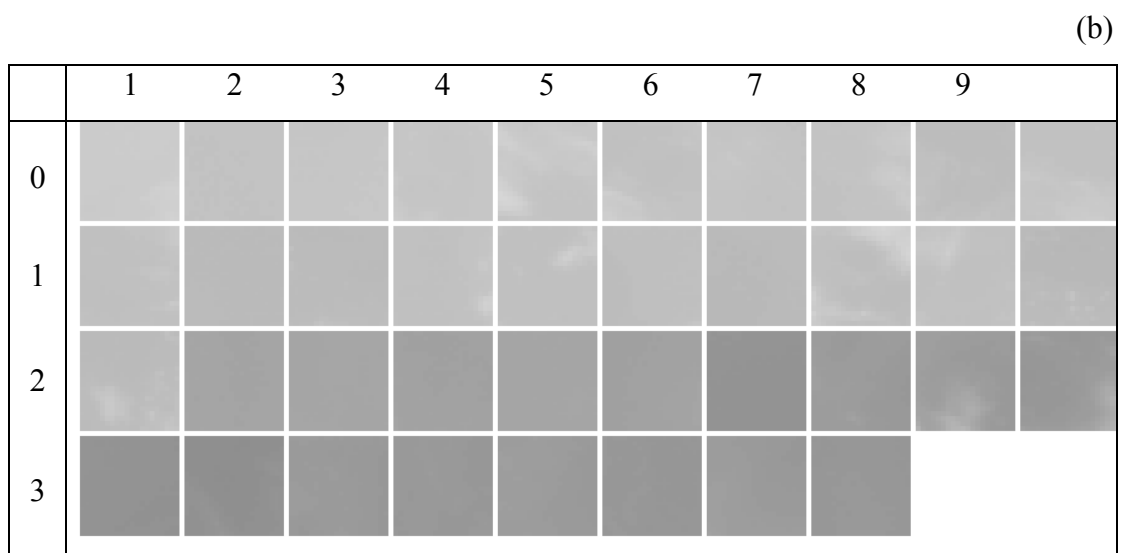
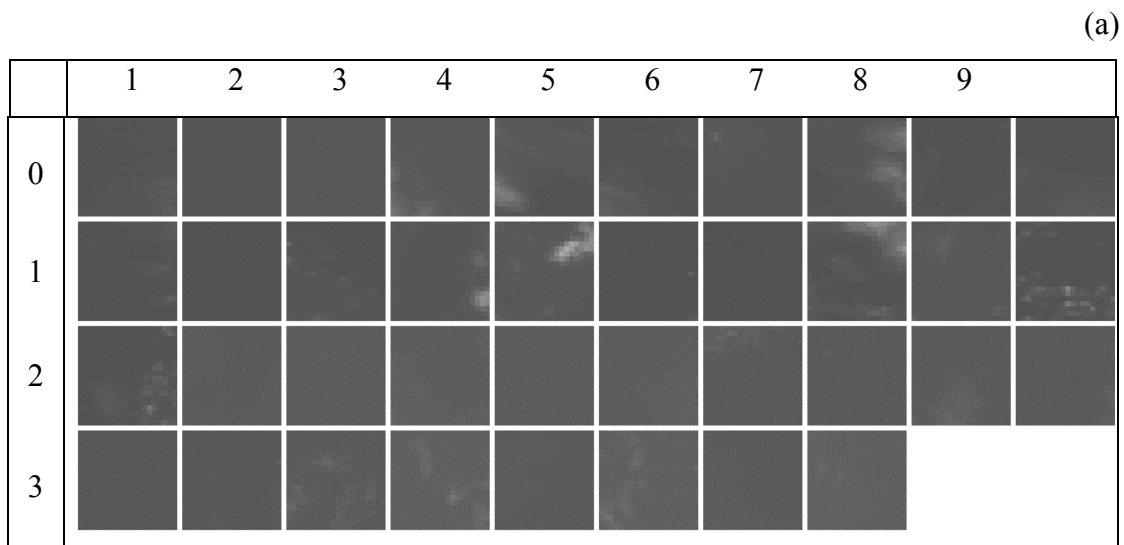


Fig. 5.6 – Mosaico referentes aos FOV das 38 sondagens classificadas como TIPO 4 com baixos albedos/ opção regressão: (a) canal 1, (b) canal 5.

TABELA 5.3 - ESTATÍSTICA DE 38 SONDAGENS TIPO 4 COM BAIXOS ALBEDOS/ REGRESSÃO

	C1	C2	C3	C4	C5	A1 (%)	A2 (%)	T3 (K)	T4 (K)	T5 (K)
Média	16,42	12,92	186,3	108,2	105,8	2,75	1,42	287,1	284,8	283,2
Desvio padrão	1,63	0,72	20,74	16,01	14,14	0,73	0,38	7,42	6,85	6,54
Mín.	13,94	11,86	155,0	83,42	82,77	1,65	0,86	277,8	274,6	273,8
Máx.	19,81	13,97	209,7	131,2	125,5	4,26	1,99	297,6	295,3	293,7

Observando-se a Figura 5.6 e através dos valores médios dos albedos da Tabela 5.3, conclui-se que estas sondagens foram obtidas de áreas não contaminadas por nuvens e portanto ocorreu um erro de classificação por parte do ITPP5.0. Outras situações devem ser analisadas para diagnosticar a presença ou não de nebulosidade através dos valores de albedo/ temperatura.

A Figura 5.7 exhibe os mosaicos dos locais das 50 sondagens classificadas pela opção regressão como TIPO 1. A primeira imagem desta figura tanto para o canal 1 quanto para o canal 5 provém de uma região nublada, evidenciada através da tonalidade mais clara. Isto sugere que ocorreu algum erro durante o processo de classificação desta sondagem. Observa-se também outros locais com alguns pixels dispersos com características de nuvens, mas como o ITPP5.0 possui apenas duas opções para classificação (TIPO 1 ou TIPO 4), tais sondagens foram corretamente classificadas.

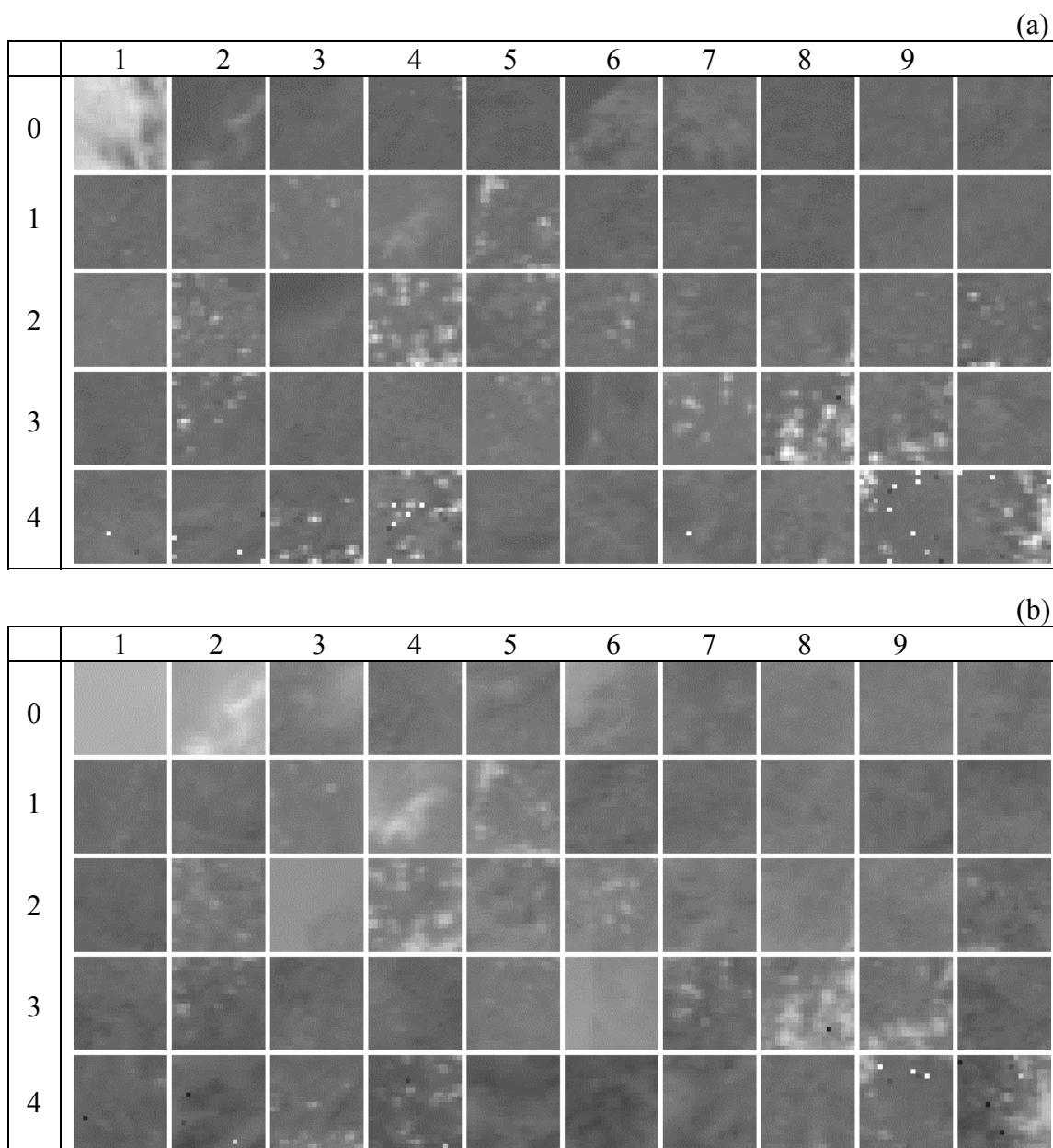


Fig. 5.7 – Mosaicos referentes aos FOV das 50 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção regressão: (a) canal 1, (b) canal 5.

Para inferir as sondagens utilizando as informações do AVHRR, o ITPP5.0 através do módulo <Collac> processa inicialmente os arquivos [hirs9999] e [imag9999], montados com os dados dos sensores HIRS/2 e AVHRR respectivamente, e gera o arquivo de saída [avh9999.dat]. Durante este processamento, o módulo <Collac> realiza uma

avaliação para verificar se os arquivos de entrada foram montados corretamente, evitando prováveis erros no arquivo de saída [avh9999.dat]. Esta avaliação é feita mediante a medida da correlação entre as temperaturas de brilho do canal 8 do HIRS/2 e do canal 4 do AVHRR. Na hipótese da correta montagem destes arquivos, esta correlação deve ser acima de 0,90 (Nieman e Achtor, 1995) e para os arquivos utilizados esta correlação resultou em 0,99, o que comprova que não ocorreu erros durante as montagens dos arquivos de entrada do programa <Collac>. Os valores utilizados para as constantes de calibração durante o processo de conversão dos valores digitais do NOAA-14 para temperatura de brilho dos canais do AVHRR (Equação 4.4), calculados através dos dados de telemetria do satélite, estão apresentados na Tabela 5.4, bem como as constantes de calibração para os canais 1 e 2 do NOAA-14, conforme NOAA (1997b).

TABELA 5.4 - CONSTANTES DE CALIBRAÇÃO PARA O NOAA-14

	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5
Constante (G) (%albedo/ valor digital)	0,1115	0,1337			
Constante (II) (%albedo)	-4,5715	-5,4817			
Constante (M) (mw/ m ² sr cm ⁻¹ / valor digital)			-1,68 E03	-0,158576	-0,179227
Constante (K) (mw/ m ² sr cm ⁻¹)			1,6547	157,308	177,291

O processamento da passagem do NOAA-14 com a opção regressão, utilizando o AVHRR resultou 334 pontos de sondagens sendo: 40 sondagens classificadas como TIPO 1, 2 como TIPO 2, 189 como TIPO 3 e 103 como TIPO 4. A menor quantidade de sondagens em relação à opção regressão é explicada pelo fato da não consideração das primeiras e últimas linhas dos dados TOVS pelo ITPP5.0 durante o processamento. A

distribuição das médias digitais dos canais AVHRR para as sondagens TIPO 1 é apresentada na Figura 5.8 e a sua estatística na Tabela 5.5.

TABELA 5.5 - ESTATÍSTICA DAS 40 SONDAgens TIPO 1/ REGRESSÃO + AVHRR

	C1	C2	C3	C4	C5	A1 (%)	A2 (%)	T3 (K)	T4 (K)	T5 (K)
Média	25,91	31,66	66,11	57,18	64,51	6,98	11,45	314,0	305,1	301,2
Desvio padrão	3,01	2,67	25,51	9,82	8,78	1,34	1,42	3,94	3,75	3,59
Mín.	20,74	20,01	25,96	39,75	48,59	4,68	5,22	301,2	296,6	292,5
Máx.	35,84	35,90	139,9	79,97	85,44	11,41	13,72	319,6	311,2	307,6

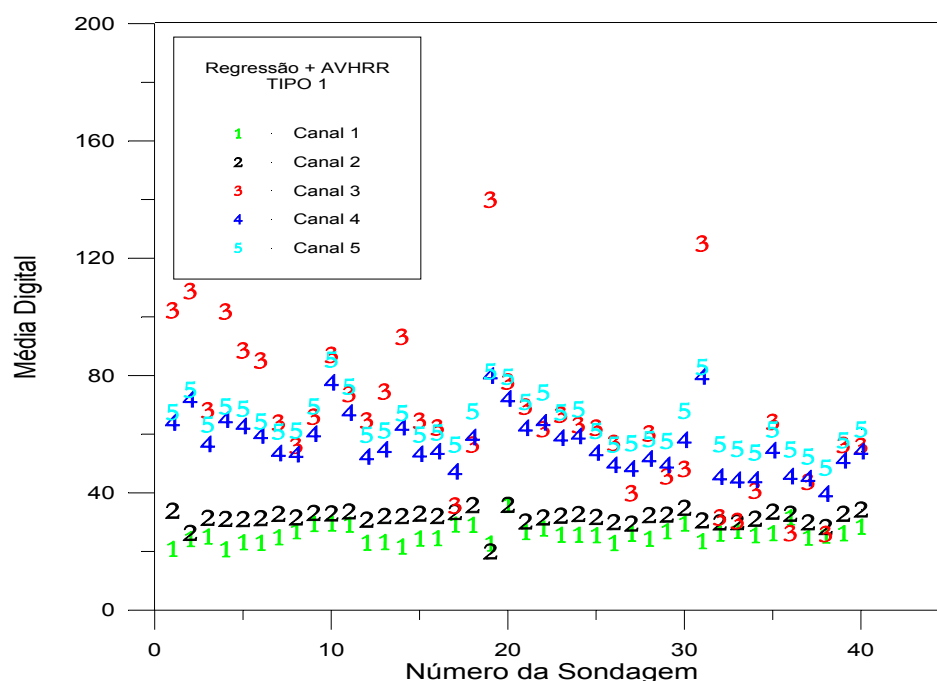


Fig. 5.8 - Média digital dos cinco canais AVHRR para o mesmo campo de visada das 40 sondagens classificadas TIPO 1/ opção regressão + AVHRR.

Como pode ser observado através da Figura 5.8 e mediante os dados da Tabela 5.5, os valores médios e os desvios padrões para os canais 1 e 2 foram menores do que os valores da opção regressão. Isto mostra que os critérios empregados pelo modelo durante a classificação de nebulosidade são mais rigorosos, fazendo com que alguns locais anteriormente classificados com alguma nebulosidade tivessem agora outro tipo de classificação. As temperaturas mais elevadas e os menores desvios padrões também confirmam esta condição, que pode ser observada através do mosaico de imagens dos canais 1 e 5 do AVHRR. Todavia alguns locais, como o 10, 11 e principalmente o 20 da Figura 5.9, não estão totalmente limpos e a presença da nebulosidade deveria ser detectada e receber a devida correção. Também ocorreu semelhante problema com os locais de baixos valores de temperatura e albedo, que tratando provavelmente de locais sem nebulosidade, foram associados a outro tipo de classificação.

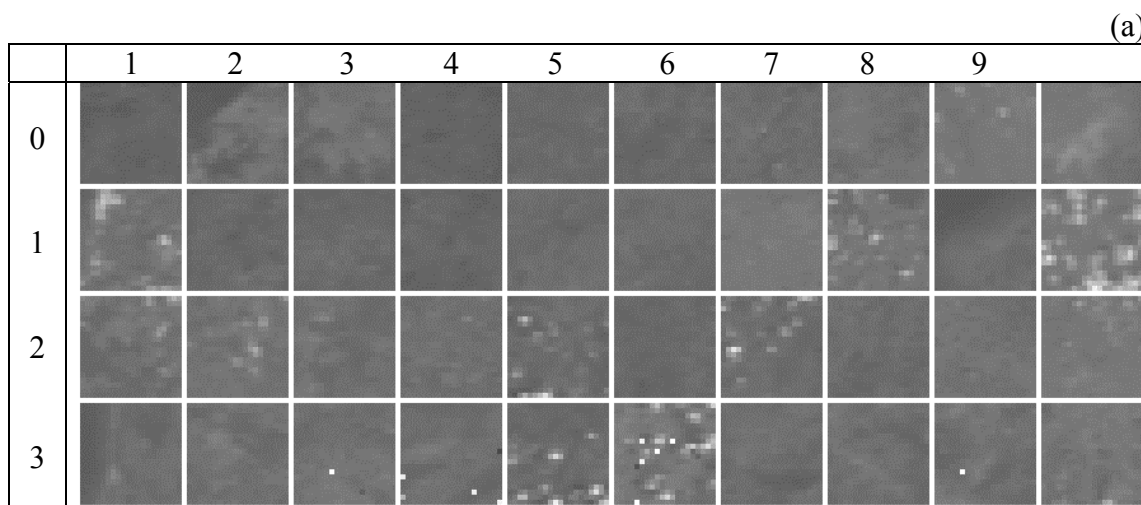


Fig. 5.9 - Mosaicos referentes aos FOV das 40 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção regressão + AVHRR: (a) canal 1, (b) canal 5. (continua)

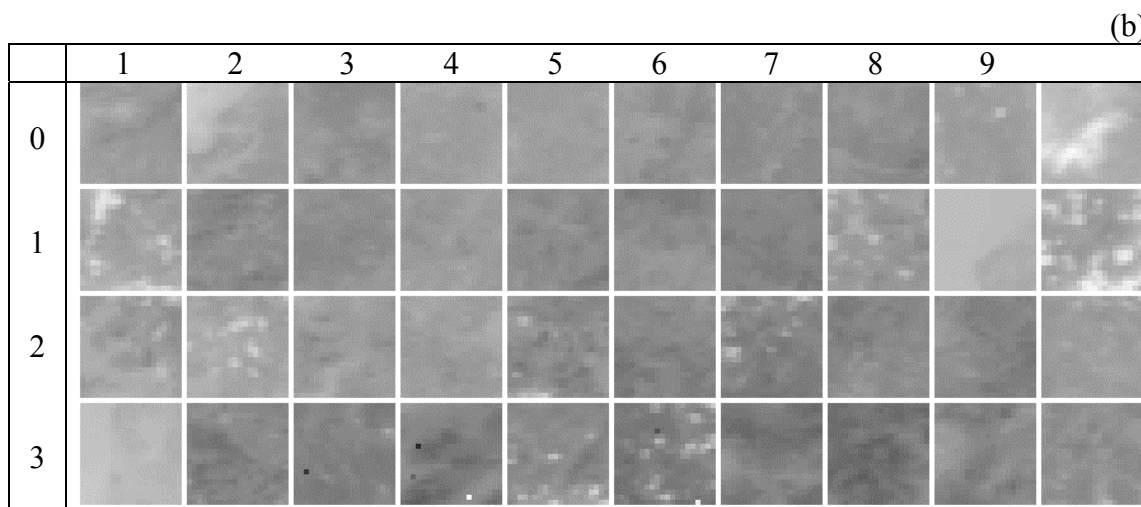


Fig. 5.9 – Conclusão.

Em relação as duas sondagens classificadas como TIPO 2, este número deveria ser maior, face a probabilidade de se encontrar a condição de nebulosidade parcial em uma passagem do satélite. Sendo assim, os critérios de decisão do padrão de nebulosidade devem ser revistos ou ajustados conforme a região, satélite, horário da passagem entre outros fatores. A Figura 5.10, que mostra os dois FOV com os valores digitais dos canais 1 e 5 do AVHRR, traduz que há uma uniformidade tanto na temperatura como no albedo, indicando tratar-se de regiões cobertas por nuvens (TIPO 4) e não de cobertura parcial (TIPO 2). O albedo médio destes dois FOV é de 40%, enquanto a temperatura fica em torno de 270 K (características de regiões nubladas).

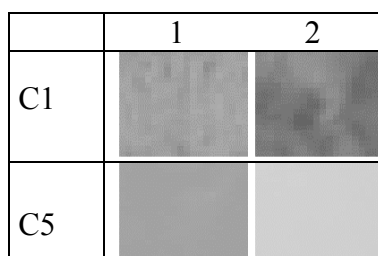


Fig. 5.10 – Mosaicos referentes aos FOV das 2 sondagens classificadas como TIPO 2/ opção regressão + AVHRR para os canais 1 e 5.

As sondagens classificadas como TIPO 3 e 4 são perfis verticais não utilizáveis devido à nebulosidade. Entretanto, deve ser observado se não ocorreu algum erro durante o processo de classificação pelo ITPP5.0, e se algum local com características de limpo ou de nebulosidade parcial não foi corretamente discriminado. Apesar da melhor resolução espacial dos dados AVHRR, não ocorreu a classificação correta e vários locais não foram classificados como limpos ou de cobertura parcial. A Figura 5.11 exemplifica 5 locais de características limpos classificados como TIPO 3, e a Figura 5.12 apresenta 10 locais com idênticos padrões classificados como TIPO 4. Tais figuras mostram que houve erro durante o processo de classificação e conseqüentemente a metodologia utilizada pelo ITPP5.0 deve ser revista e/ou os seus parâmetros aferidos.

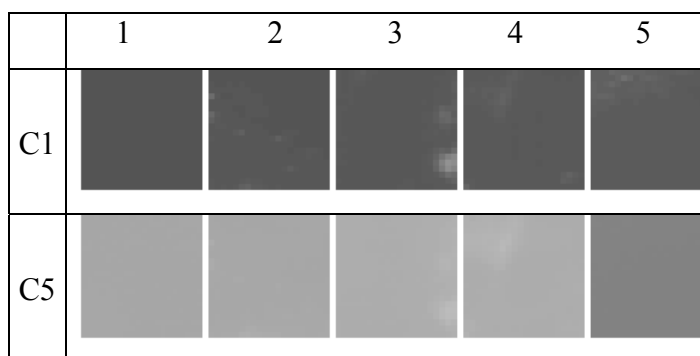


Fig. 5.11 – Mosaicos referentes aos FOV de 5 sondagens classificadas como TIPO 3/ opção regressão + AVHRR com características de TIPO 1 nos canais 1 e 5.

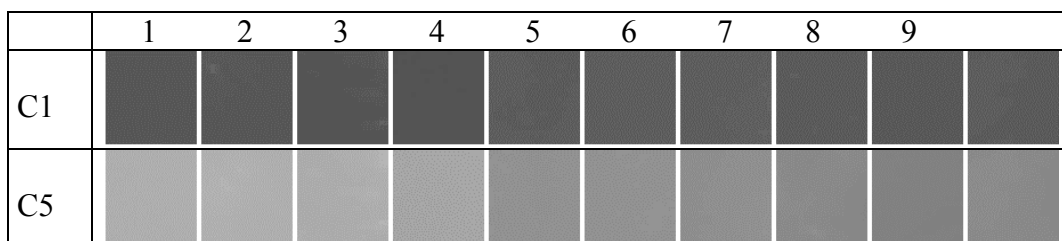


Fig. 5.12 – Mosaicos referentes aos FOV de 10 sondagens classificadas como TIPO 4/ opção regressão + AVHRR com características de TIPO 1 nos canais 1 e 5.

5.3 - REGRESSÃO + SUPERFÍCIE E REGRESSÃO + SUPERFÍCIE + AVHRR.

Os dados observados de temperatura do ar próximos da superfície terrestre são informações importantes, que devem ser fornecidas ao modelo quando da inferência dos perfis verticais. Eles são úteis tanto para a ancoragem dos perfis como também para auxiliar na definição do padrão de nebulosidade. Assim, dados observacionais de superfície são mais convenientes que os dados de superfície extraída da previsão numérica de tempo utilizadas no presente trabalho, devida a forma como estes dados são obtidos.

A passagem analisada do NOAA-14, utilizando a opção de regressão com dados de superfície resultou 416 sondagens, das quais 87 foram classificadas como TIPO 1 e 329 como TIPO 4. Com a inclusão dos dados de superfície permaneceram as 50 sondagens anteriormente classificadas através da opção de regressão, contudo 37 sondagens TIPO 4 foram reclassificadas como TIPO 1, somando um total de 87 sondagens. Comparando com a opção de regressão, ocorreu um aumento de 74% na quantidade de sondagens TIPO 1, embora algumas destas novas sondagens não estivessem totalmente limpas. Isto pode ser observado através das imagens identificadas pelos números 9,10,11 e 12 do mosaico da Figura 5.14. Todavia em média houve uma melhoria, pois apenas a de número 8, anteriormente classificada como TIPO 1, e as de números 9 a 12, não obedeceram o comportamento de FOV limpo ou com pouca nebulosidade. Observou-se também as semelhantes situações analisadas anteriormente para os locais com características de céu claro, que ainda foram classificados erroneamente como TIPO 4. A Figura 5.13 ilustra os valores digitais dos canais AVHRR para os locais das sondagens TIPO 1, enquanto que a Tabela 5.6 mostra a estatística destes pontos.

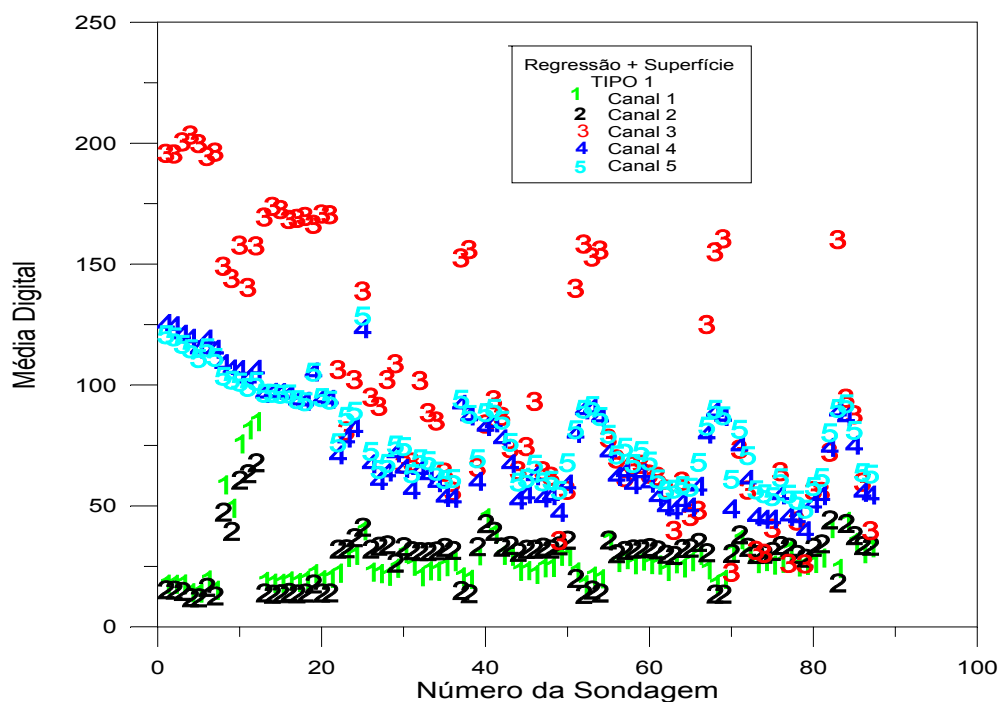


Fig. 5.13 - Média digital dos cinco canais AVHRR para o mesmo campo de visada das 87 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção regressão + superfície.

TABELA 5.6 - ESTATÍSTICA DAS SONDAGENS TIPO 1/ REGRESSÃO + SUPERFÍCIE

	C1	C2	C3	C4	C5	A1 (%)	A2 (%)	T3 (K)	T4 (K)	T5 (K)
Média	27,80	29,16	103,3	75,23	79,53	7,82	10,11	306,6	298,1	294,8
Desvio padrão	12,60	11,38	52,73	23,17	19,09	5,62	6,08	10,75	9,07	8,27
Mín.	13,94	12,00	22,54	39,75	48,59	1,65	0,94	281,1	277,4	272,3
Máx.	84,81	67,87	203,3	125,4	128,4	33,25	30,82	320,0	311,2	307,6

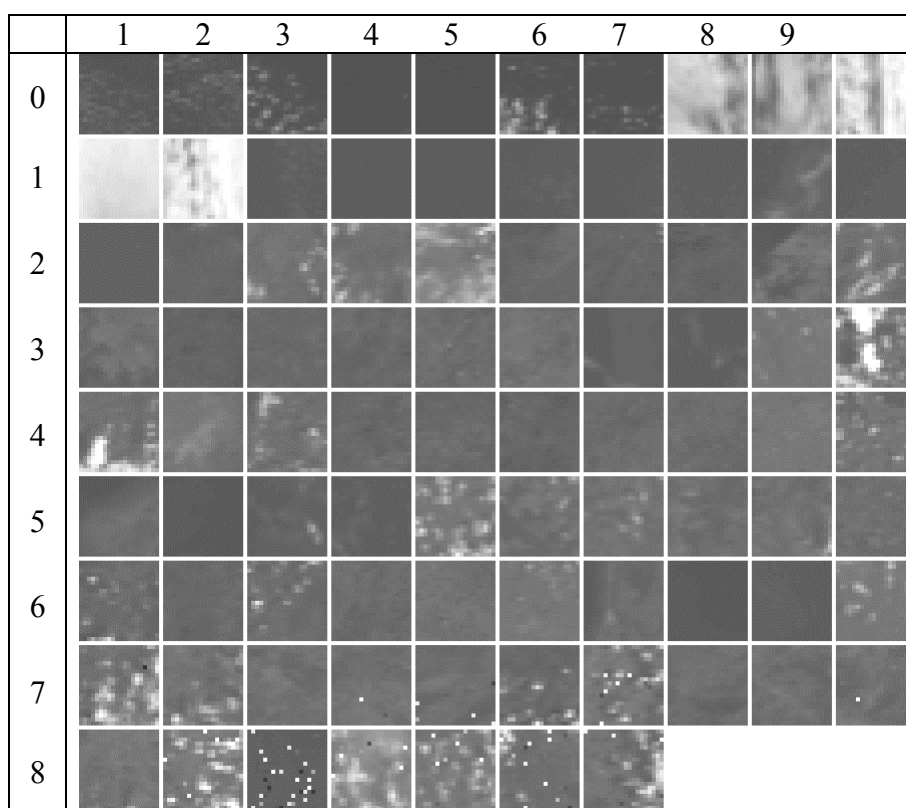


Fig. 5.14 – Mosaico referentes aos FOV das 87 sondagens no canal 1 classificadas como TIPO 1 /opção regressão + superfície.

Com a utilização da opção de regressão, usando dados de superfície e do AVHRR, o modelo ITPP5.0 obteve um total de 335 sondagens, sendo 66 classificadas como TIPO 1, 2 como TIPO 2, 193 como TIPO 3 e 74 como TIPO 4. Ocorreu uma diminuição da quantidade de sondagens classificadas como limpas (87 para 66) em função do ITPP5.0 não processar as primeiras e últimas sondagens quando do uso das informações do AVHRR e também em função de algumas sondagens serem reclassificadas como TIPO 3. A Figura 5.15 apresenta o mosaico das sondagens classificadas como TIPO 1, e a Figura 5.16 ilustra as médias digitais dos canais do AVHRR para estas mesmas sondagens. O comportamento dessas sondagens é semelhante ao mostrado na Figura 5.13, visto que as 66 sondagens classificadas como TIPO 1 pertencem às anteriormente classificadas como limpas sem a inclusão do AVHRR. Através de uma análise visual dos mosaicos da Figura 5.15 apenas os FOVS 5, 6 e 7 podem ser considerados

nublados, visto que possuem um valor elevado de albedo e uma correspondente temperatura baixa, o que caracteriza a presença de nuvens. Por outro lado, os FOV 29, 30 e 44 são os que mais apresentam as características de nebulosidade parcial, e portanto, deveriam ser classificados como TIPO 2, o que resulta num total de 60 sondagens classificadas corretamente.

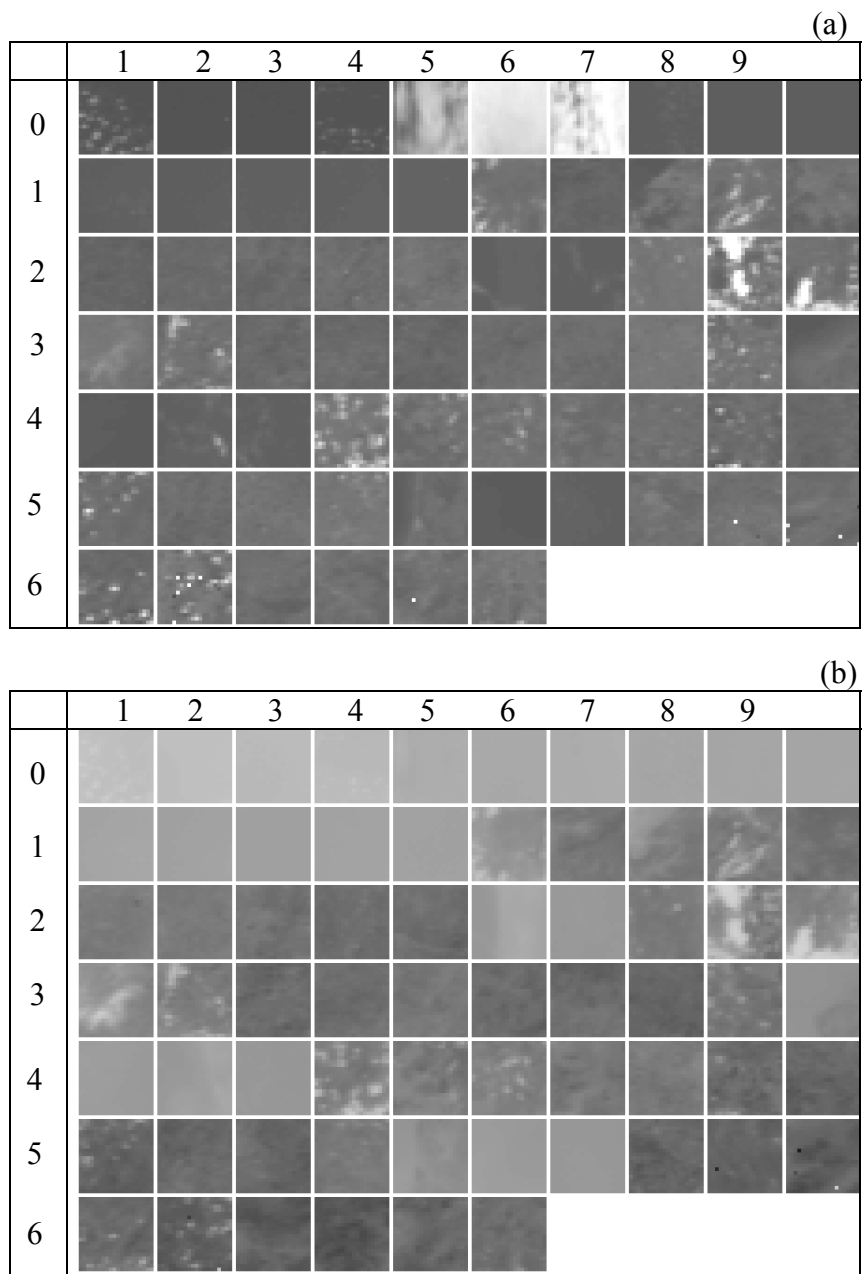


Fig. 5.15 – Mosaico referentes aos FOV das 66 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção regressão + superfície + AVHRR: (a) canal 1, (b) canal 5.

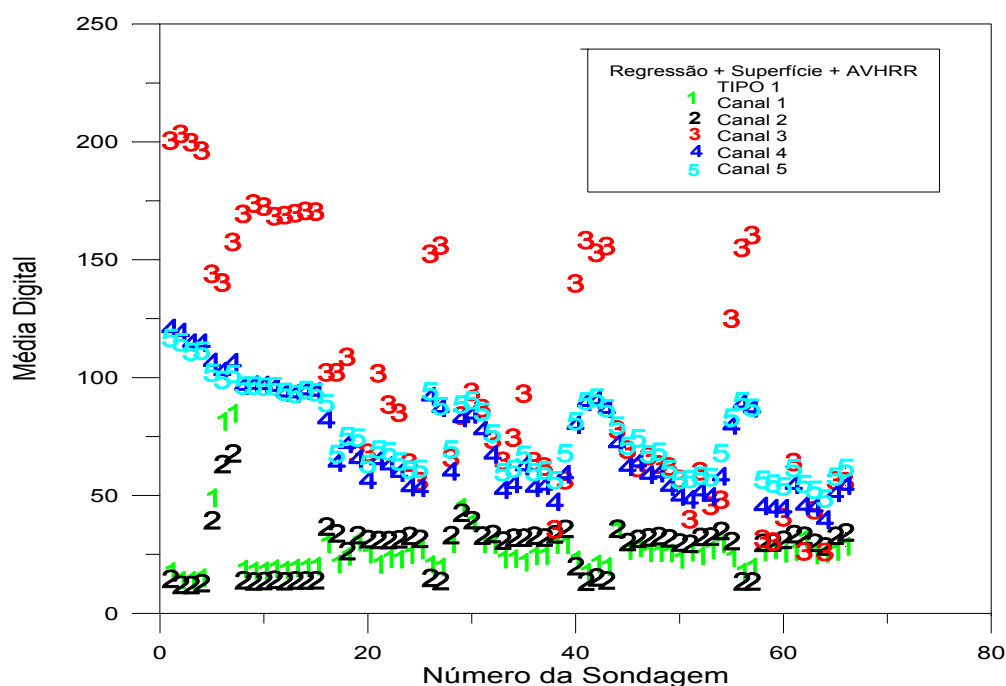


Fig. 5.16 - Média digital dos cinco canais AVHRR para o mesmo campo de visada das 66 sondagens classificadas como TIPO 1/opção regressão + superfície + AVHRR.

Em relação ao TIPO 2, as duas sondagens atribuídas a nebulosidade parcial foram as mesmas anteriormente classificadas quando do uso da opção regressão com AVHRR, e portanto, continuaram sendo classificadas de forma incorreta. Numa análise das sondagens TIPOS 3 e 4, observou-se o comportamento semelhante da opção sem os dados de superfície, fazendo com que algumas sondagens de características de FOV limpos fossem classificadas como cobertas.

5.4 – PREVISÃO + SUPERFÍCIE + AVHRR.

Durante o processo de classificação do padrão de nebulosidade, o ITPP5.0 utiliza entre outras informações, os valores de temperatura provenientes tanto dos dados de superfície quanto da previsão. Através desta opção, o total de sondagens obtidas foi 337, sendo 85 TIPO 1, 2 TIPO 2, 192 TIPO 3 e 58 TIPO 4. A Figura 5.17 ilustra as médias

digitais dos canais do AVHRR para as sondagens associadas ao TIPO 1, que segue semelhante comportamento para os canais 1 a 5 da Figura 5.16.

A alteração mais significativa quando da utilização da previsão, comparada com a opção sem o uso da previsão, foi o aumento na quantidade de sondagens TIPO 1 e o decréscimo na quantidade TIPO 4. As 19 novas sondagens que foram reclassificadas como limpas foram as de números: 1, 2, 4, 5, 6, 9, 12, 15, 16, 17, 19, 21, 22, 27, 33, 41, 42, 43 e a 75, cujas imagens podem ser observadas através do mosaico da Figura 5.18. Entre estas novas sondagens, em que todas as alternativas anteriores as classificaram como TIPO 4, apenas a 15 encontra-se com nebulosidade, enquanto que as demais possuem características de FOV limpos, estando portanto corretamente classificadas. No geral, houve um erro de classificação para as sondagens identificadas pelos números 11, 13, 14 e 15, como podem ser observadas mediante o mosaico da Figura 5.18. As sondagens TIPO 2, TIPO 3 e TIPO 4, tiveram semelhantes erros quanto ao processo de classificação conforme a opção regressão mais os dados AVHRR.

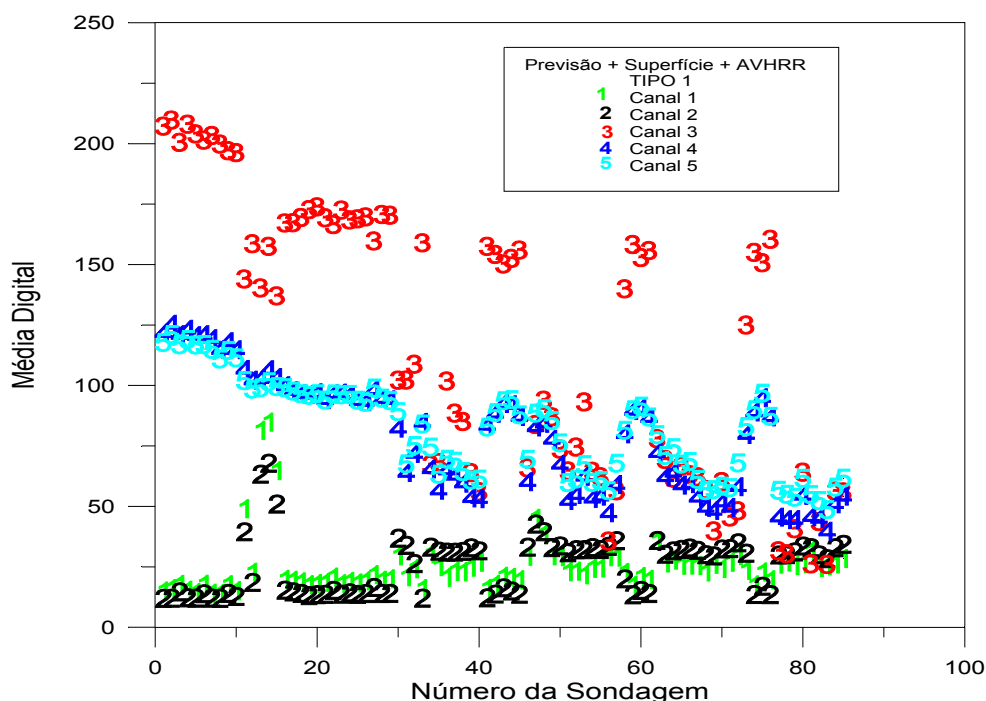


Fig. 5.17 - Média digital dos cinco canais AVHRR para o mesmo campo de visada das 85 sondagens classificadas como TIPO 1 / opção previsão + superfície + AVHRR.

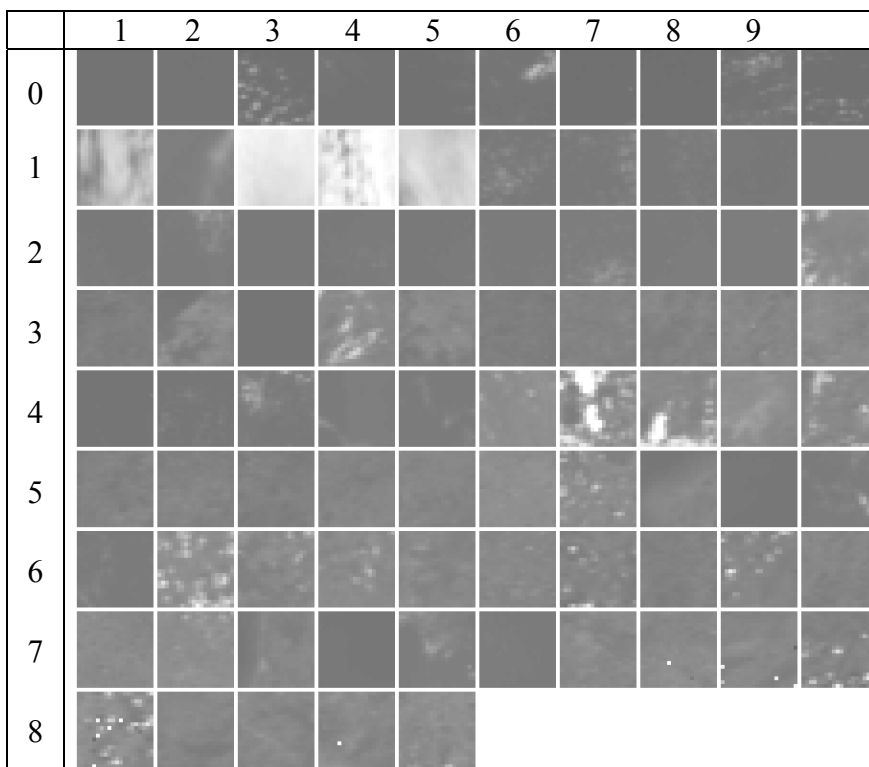


Fig. 5.18 – Mosaico referente aos FOV das 85 sondagens classificadas como TIPO 1/ opção previsão + superfície + AVHRR para o canal 1.

5.5 - PADRÕES DE PERFIS VERTICAIS.

A Figura 5.19 ilustra os perfis verticais de temperatura obtidos através do modelo ITPP5.0 sob a condição de céu limpo e céu nublado, para um determinado local utilizando as opções de processamento discutidas anteriormente. Entretanto, estão representados apenas três perfis de T e T_d em virtude dos perfis resultantes das opções regressão ou regressão mais superfície adicionando-se as informações do AVHRR serem os mesmos respectivamente.

Tomando como base os perfis de temperatura da opção regressão + AVHRR da Figura 5.19, representado através da cor verde, observa-se que com a introdução das informações referentes à superfície, os perfis resultantes (cor azul) são influenciados em

média até a altura equivalente a 700 hPa, onde estes dois perfis se sobrepõem. Isto se deve ao fato da ancoragem dos perfis aos valores de inicialização da temperatura da superfície e a sua propagação ao longo do perfil. Esta diferença será tanto menor quanto os valores estimados internamente pelo modelo, para as temperaturas da superfície, forem mais próximos possíveis dos valores da superfície utilizados como entrada. Isto explica a recomendação do uso de dados de superfície pela CIMSS, a fim de que os perfis inferidos pelos TOVS reproduzam com maior fidelidade os perfis da atmosfera.

Quando do uso dos dados de previsão numérica de tempo, o modelo ITPP5.0 ao invés de gerar o perfil inicial através dos coeficientes de regressão internos ao modelo, utiliza a própria previsão para a inicialização dos valores de T e T_d . Com isto o perfil obtido é influenciado desde a superfície até o topo da atmosfera, de acordo com os valores da previsão utilizados na entrada. O valor inicial da temperatura do perfil é ancorado com o valor da temperatura da superfície de entrada do ITPP5.0, enquanto que os valores de temperatura ao longo da atmosfera são modelados pelos dados de previsão utilizados como 'first guess'.

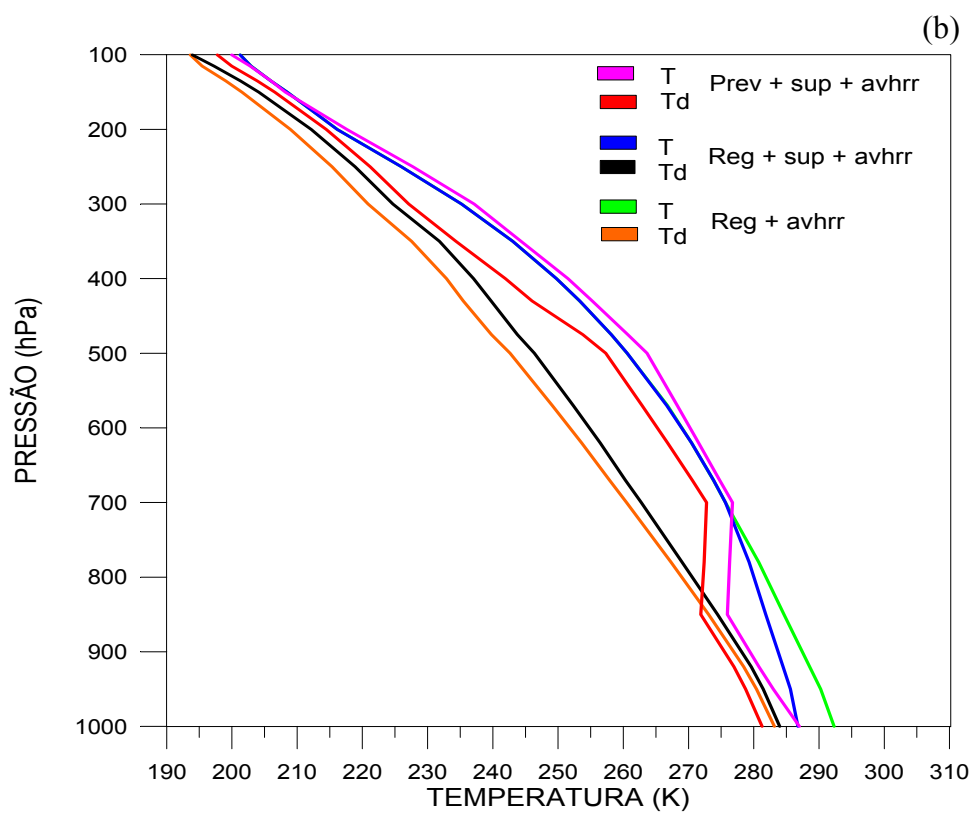
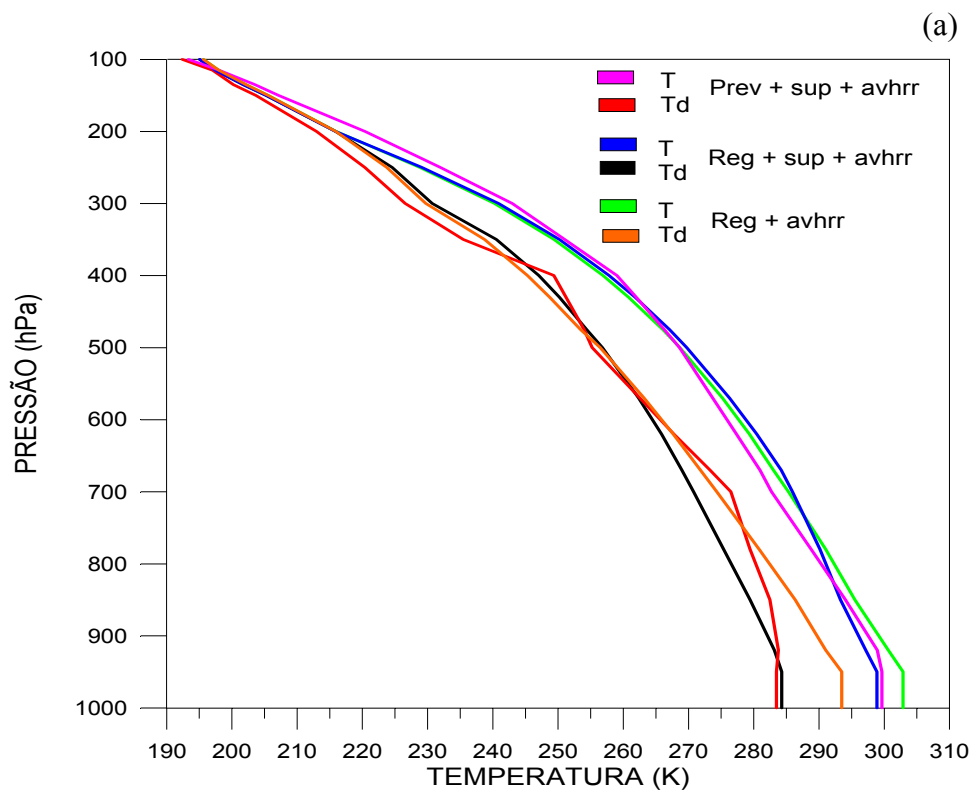


Fig. 5.19 – Perfis verticais de T e T_d . (a) céu limpo, (b) céu nublado.

CAPÍTULO 6

RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho incorpora informações de imagens do sensor AVHRR ao aplicativo ITPP5.0, com intuito de aprimorar o seu desempenho para discriminação do padrão de nebulosidade em locais onde são obtidas sondagens via satélite. As análises foram feitas utilizando as radiâncias TOVS das passagens do NOAA-14, horário vespertino no período de 14 a 16 de outubro de 1997, embora estejam apresentados os resultados referentes ao dia 15.

A detecção do padrão de nebulosidade é realizada utilizando comparações entre a temperatura de brilho e o albedo derivados dos sensores HIRS/2 e AVHRR. Neste processo dependendo dos valores da temperatura e albedo, a sondagem é classificada desde céu limpo a nublado. Em situação com nebulosidade parcial a porcentagem de cobertura é avaliada, utilizando as radiâncias derivadas dos canais da janela atmosférica do HIRS/2 e AVHRR, e posteriormente a radiância do HIRS/2, usada para inferir os perfis verticais da atmosfera, é corrigida. É importante destacar que as sondagens normalmente utilizáveis são aquelas classificadas pelo aplicativo ITPP5.0 como céu limpo, ou de cobertura parcial. Daí a importância da incorporação das informações do AVHRR visando uma melhor classificação quanto à nebulosidade do local da sondagem.

Os resultados obtidos evidenciam que, em média os locais com baixas temperaturas e albedos elevados, característicos de regiões com nuvens, são classificados corretamente como nublados, enquanto que as situações inversas, ou seja, com altas temperaturas e baixos albedos, são classificados como céu limpo, com ou sem a utilização dos dados AVHRR.

Em geral, o impacto dos dados AVHRR na classificação do padrão de nebulosidade é positivo. Isto se deve principalmente à melhor resolução espacial apresentada pelo AVHRR, quando comparada com a dos sensores TOVS. Isto possibilitou uma melhor discriminação da cobertura de nuvens do local da sondagem. Assim, as sondagens classificadas como TIPO 1, céu limpo, apresentaram-se menos contaminadas por nuvens após a utilização das informações do AVHRR.

Por outro lado, para condições de céu limpo, com temperatura e albedo da superfície terrestre relativamente baixos, o ITPP5.0 classificou erroneamente as sondagens inferidas destes locais como TIPO 4, utilizando ou não os dados de imagens AVHRR. Devido a esta condição, observou-se que o aplicativo atribui um maior poder de decisão aos canais de janela atmosférica do HIRS/2, considerando as medidas características de outros canais como secundárias. Entretanto se fosse atribuído um peso maior ao albedo, estas sondagens provavelmente seriam classificadas como TIPO 1. Sendo assim, mediante uma análise sistemática de vários conjuntos de dados de épocas distintas do ano, os patamares de temperatura estabelecidos no processo de detecção de nebulosidade devem ser ajustados.

Durante o processo de detecção de nebulosidade, o ITPP5.0 utiliza como dado referente à superfície, os valores de temperatura derivados do canal da janela atmosférica do HIRS/2 ou da própria superfície terrestre. Assim foram encontradas diferenças relevantes quando se usou informações de temperatura da superfície provenientes do nível equivalente à 1000 hPa do modelo numérico de previsão do tempo, como entrada do aplicativo. Estas diferenças podem ser explicadas devido aos dados do modelo não coincidirem com a passagem do satélite, além do que o ideal seria inserir dados observacionais tanto de temperatura como de temperatura de ponto de orvalho reais. Quando incorporou-se como 'first guess' as informações referentes à previsão numérica de tempo no ITPP5.0, observou-se algumas diferenças na classificação, em função do ITPP5.0 utilizar valores de temperatura do perfil, na proximidade da superfície.

Importante salientar que o ITPP5.0 não conseguiu classificar corretamente as sondagens inferidas nas regiões de cobertura parcial de nuvens (TIPO 2) e efetuar a devida correção das radiâncias TOVS em função da porcentagem de nebulosidade calculada. Portanto, é recomendado uma pesquisa mais intensa, envolvendo uma quantidade maior de passagens de satélite em diversas épocas do ano para aferir o aplicativo no processo de detecção de nebulosidade.

Também foi observado que os dados de temperatura da superfície terrestre determinam o valor inicial da temperatura do perfil e influenciando-o até o nível de pressão equivalente à 700 hPa. Por outro lado os dados de previsão numérica de tempo, utilizados para inicialização do perfil inicial, influenciam o perfil vertical de temperatura em todos os níveis de pressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Björheim, K.; Julian, P.; Kanamitsu, M.; Kållberg, P.; Price, P.; Tracton, S.; Uppala, S. **Global weather experiment: daily global analyses.** Dec. 1978 - Feb. 1979. ECMWF, 1981. Part 1.
- Coakley, J.; Bretherton, F. Cloud cover from high resolution scanner data; detecting and allowing for partially filled fields of view. **Journal of Geophysical Research**, v. 87, n. C7, p. 4917-4932, June. 1982.
- Csiszár, I.; Kovács L. Use of TOVS data in numerical weather prediction at the hungarian meteorological service. In: International TOVS Study Conference, 7., Igls, Austria. Feb. 1993. **Proceedings**. Reading: J.R. Eyre, 1993. p. 86-94.
- Dong, C.; Li, G.; Zhang, W.; Wu, B.; Ran, M.; Liu, Q.; Zhang, M. Study of simultaneous physical retrieval method for meteorological parameters over the continent of China. In: International TOVS Study Conference, 6., Airlie. May, 1991. **Proceedings**. Wisconsin: W. P. Menzel, 1991. p. 87-117.
- Kaplan, L.D. Inference of atmospheric structure from remote radiation measurements. **Journal of Optical Society of America**, v. 49, n. 10, p.1004-1007, Oct. 1959.
- Kidwell, K.B., ed. **NOAA polar orbiter data users guide**. Washington: NOAA, July 1991. 147 p.
- King, J.I.F. The radiative heat transfer of planet Earth. In: Van Allen, J.A., ed. **Scientific uses of earth satellites**. Ann Arbor: University of Michigan

Press, 1956. p. 133-136.

McMillin, L.; Gruber, A.; Wark, D. An evaluation of early operational temperature soundings from TIROS-N. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 60, n. 10, p.1188-1197, October. 1979.

Menzel, W.P. Notes on satellite meteorology. Jan. 1991. Unpublished work copyright pending.

Menzel, W.P.; Smith, W.L.; Stewart, T.R. Improved cloud motion wind vector and altitude assignment using VAS. **Journal of Applied Meteorology**, v.22, n. 2, p. 377-384, Feb. 1983.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **NOAA-12 calibration**. [online]. <<http://140.90.207.25:8080/EBB/pubs/CAL/cal12.asc>>. Sept. 1997a.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **NOAA-14 calibration**. [online]. <<http://140.90.207.25:8080/EBB/pubs/CAL/cal14.asc>>. Sept. 1997b.

Nieman, S.; Achtor, T. **ITPP5.0 user guide**. Madison: University of Wisconsin. June, 1995. A Report from the CIMSS.

Planet, W. G., ed. **Data extraction and calibration of TIROS-N/NOAA radiometers**. Washington: NOAA, Oct. 1988. 92 p. (NOAA Technical Memorandum NESS

107).

Rao, P.K.; Holmes, S.J.; Anderson R. K.; Winston J.S.; Lehr, P.E. **Weather Satellites: systems, data and environmental applications**. Boston: AMS, 1990. 503 p.

Sakuragi, J. **Sondagens TOVS: impacto na análise sinótica entre 18 e 19 de março de 1991 na região sul e sudeste do Brasil**. São José dos Campos. 138 p. (INPE-5497-TDI/512). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992.

Smith, W.L.; Woolf, H.M. The use of eigenvectors of statistical covariance matrices for interpreting satellite sounding radiometer observations. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.33, n. 7, p.1127-1140, July, 1976.

Smith, W.L.; Platt C.M.R. Comparison of satellite-deduced cloud heights with indications from radiosonde and ground based laser measurements. **Journal of Applied Meteorology**, v. 17, n. 12, p. 1796-1802, Dec. 1978.

Smith, W.L.; Woolf, H.M.; Hayden, C.M. The TIROS-N operational vertical sounder. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 60, n. 10, p.1177-1187, Oct. 1979.

Smith, W.L. Satellites. In: Houghton, D.D. **Handbook of applied meteorology**. Cambridge University Press, 1985. cap.10, p. 380-472.

Smith, W.L. Atmospheric soundings from satellite-false expectation or the key to improved weather prediction? **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, v. 117, n. 496, p. 267-297, Jan. 1991.

Smith, W.L.; Woolf, H.M.; Nieman, S.J.; Achtor, T.H. ITPP-5 - the use of AVHRR and TIGR in TOVS data processing. In: International TOVS Study Conference, 7., Igls, Austria. Feb. 1993. **Proceedings**. Reading: J.R. Eyre, 1993. p. 443-453.

Teixeira, R.F.B. Algumas comparações TOVS entre as versões 4 e 5 do aplicativo ITPP e dados do modelo MRF do NMC. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9., Campos do Jordão, 1996. **Anais**. Campos do Jordão: SBM, 1996a. p. 557-559.

Teixeira, R.F.B. Algumas intercomparações: sondagens TOVS e radiosondagem convencional sobre Fortaleza/CE, e pelas versões 4 e 5 do ITPP. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9., Campos do Jordão, 1996. **Anais**. Campos do Jordão: SBM, 1996b. p. 557-559.

Werbowetzki, A. **Atmospheric sounding user's guide**. Washington: DC, NOAA, April. 1981. (NOAA Technical Report NESS 83).

Yamazaki, Y.; Nakamura, Y.; Ho, M.R.C.; Ho, C.S.N. Experimento de intercomparação: sondagens TOVS e radiosondagens. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, n. 2, p.157-166, dez. 1987.