

# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS INFRAVERMELHO E VISÍVEL DO SATÉLITE GOES E SUA INTEGRAÇÃO COM DADOS DE RADAR METEOROLÓGICO

Jorge Conrado Conforte  
Instituto de Pesquisas Espaciais  
Ministério da Ciência e Tecnologia  
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

Maria Aparecida Senaubar Alves  
Centro Técnico Aeroespacial  
Instituto de Atividades Espaciais

Fausto Carlos de Almeida  
Instituto de Pesquisas Espaciais  
Ministério da Ciência e Tecnologia  
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

Oswaldo Massambani  
Universidade de São Paulo  
Instituto Astronômico e Geofísico  
05508 - São Paulo, SP, Brasil

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia para a sobreposição de imagens digitais dos satélites meteorológicos "GOES", com as do radar meteorológico de Bauru, SP, visando o desenvolvimento de algoritmos que permitam a determinação de campos de precipitação em regiões cobertas por estes instrumentos. Esta metodologia é necessária para compatibilizar a resolução espacial plana das imagens visível ( $\sim 1\text{km}^2$ ) e infravermelho ( $\sim 32\text{km}^2$ ), com a volumétrica do radar banda C ( $\sim 1\text{km}^2 \times 1^\circ$ ). Neste sentido, os CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) do radar foram remapeados para o sistema de coordenadas do satélite (linha e elemento), por sua vez, navegadas para coordenadas terrestres (latitude, longitude). Os erros observados foram compatíveis com a metodologia, e os resultados permitirão estimar campos de precipitação, cujo resultado será em benefício do uso de sensoriamento remoto no monitoramento da atmosfera.

## ABSTRACT

This work presents a methodology for the composition of digital images from the "GOES" meteorological satellite with those of the meteorological radar at Bauru, SP, allowing the development of algorithms which permit the determination of precipitation fields in regions covered by these instruments. This methodology is necessary to match the plane spatial resolution of visible ( $\sim 1\text{km}^2$ ) and infrared ( $\sim 32\text{km}^2$ ) images of the satellite with the volumetric resolution of the band C radar ( $\sim 1\text{km}^2 \times 1^\circ$ ). CAPPI's (Constant Altitude Plan Position Indicator) of radar images were remapped to the coordinate system of the satellite (line, element), which was itself navigated to terrestrial coordinates (latitude, longitude). The errors observed were compatible with the methodology, and the results should allow future estimates of precipitation fields, resulting in one more benefit from the use of remote sensing in the monitoring of the atmosphere.

## 1. INTRODUÇÃO

A atmosfera pode ser observada remotamente, através de sensores fixos à superfície da Terra (radar) ou através do uso de aviões ou plataformas espaciais (satélites).

Aplicações de radar com fins meteorológicos tiveram início no final da década de 40, enquanto que as de satélites começaram após o lançamento do Tiros I em 1960. Com o desenvolvimento e o lançamento de satélites mais avançados, novas aplicações surgiram possibilitando a combinação dos dados de radar e satélite Meteorológico.

Martin e Sherer (1973) descreveram os primeiros estudos, que utilizaram dados integrados de radar e satélite aplicados na estimativa de precipitação. Lovejoy e Austin (1979), Stout et alii (1979), Belon et alii (1980), Negrie Adler (1981), Browning (1985) e Tsonis e Isaac (1985), mostraram aplicações desta nova metodologia.

Neste trabalho é apresentada uma metodologia para a composição digital das imagens obtidas através do satélite geostacionário GOES (geostationary Operational Environmental Satellite) e do radar meteorológico (da Fundação Educacional de Bauru - FEB).

Os dados de satélite, dos canais visível e infravermelho e do radar, não apresentam a mesma resolução espacial, e nem são representadas no mesmo sistema de coordenadas. Desta forma, visando a composição destes dados é necessário transformá-los para se ter uma mesma resolução e um sistema de coordenadas comum.

## 2. DADOS

Os dados utilizados foram obtidos durante o Experimento Meteorológico II, do projeto Radasp II (janeiro e fevereiro de 83), e referem-se a uma região de 150km de raio, centrada em Bauru, SP. Neste experimento foram coletados dados do radar Meteorológico da FEB, em Bauru, na Banda C ( $L = 5\text{cm}$ ), com resolução temporal de 5 minutos. A aquisição dos dados do radar é feita com um giro de antena a cada 20 segundos, com a elevação variando de  $0^\circ$  a  $14^\circ$ , e com incremento de  $1^\circ$  entre cada rotação. Cada pulso transmitido pelo radar é aproximadamente cônico, tendo cada elemento de volume amostrado (Bin) a dimensão radial constante de 1,05km com  $1^\circ$  de dimensão angular (resolução espacial) (Massambani et alii 1983). Neste mesmo período, foram gravadas imagens do satélite GOES-E na estação de recepção localizada em Cachoeira Paulista (SP), pertencente ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Estas imagens são formadas através da varredura no sentido oeste-leste pelos sensores visível ( $0,55\text{--}0,75\ \mu\text{m}$ ) e infravermelho ( $10,5\text{--}12,5\ \mu\text{m}$ ). Após cada rotação, o ângulo de varredura dos sensores é incrementado de  $192\ \mu\text{rad}$ , permitindo então a formação da imagem no sentido norte-sul. A amostragem no sentido oeste-leste é de  $0,21\ \mu\text{rad}$ , para o visível e  $0,84\ \mu\text{rad}$ , para o infravermelho. Estas características associadas com a altitude do satélite fazem com que a resolução espacial na região de Bauru seja aproximadamente de  $8 \times 4\text{km}$  (embora a do sensor seja  $8 \times 8$ ) para o canal infra e de  $1 \times 1\text{km}$  para o visível (tendo em vista que existem oito sensores no canal visível alinhados com o sensor infra). A resolução temporal do satélite GOES é de 30 minutos. Para detalhes adicionais deste satélite ver Clark (1983).

## 3. METODOLOGIA E RESULTADOS

Para a composição digital dos dados de radar e satélite, foi necessário a utilização de um sistema de coordenadas comum.

Neste trabalho utilizamos como sistema base, o sistema de coordenadas definido pelo plano de imagem do satélite, que é formado pelo conjunto de linhas e elementos da imagem ( $1812 \times 3822$  no infravermelho).

O mapa do campo de precipitação obtido pelo radar, é representado através do campo tridimensional da refletividade. Agrupando-se sequencialmente os anéis das varreduras ( $0^\circ$  a  $13^\circ$ ) obtém-se um mapa com altitude média de amostragem constante ou seja o CAPPi (Constant Altitude Plan Position Indicator).

Na Figura 1 podemos obter o esquema utilizado para obtenção desses CAPPiS para a altura de 3,5km empregado neste trabalho. Resumidamente, para cada elevação e na altura acima consi-

derado, foi feita uma composição dos bins dentro de cada paralelograma irregular. Por exemplo; para a primeira elevação, foram utilizados os bins de número de 100 a 157 (que estão compreendidos entre 107,6 e 157,0km), e assim sucessivamente para as outras elevações.

Os CAPPiS assim formados são representados em coordenadas cartesianas com resolução espacial de  $4 \times 4\text{km}$ , como pode ser observado na Figura 2, para a altitude de 3,5km. Onde os números na figura representam a intensidade de precipitação expressa em dBZ, classificada em 16 níveis, com a frequência de ocorrência de cada nível. A cruz representa a localização do radar.

O primeiro passo para a composição das imagens foi a mudança desta resolução ( $4 \times 4\text{km}$ ) para a mesma resolução associada ao canal infra, ( $8 \times 8\text{km}$ ), como pode ser visto na Figura 3. Isto foi feito através da média de duas linhas consecutivas para os CAPPiS. Onde os números possuem o mesmo significado da figura anterior.

Utilizando-se a metodologia de Heysfield et alii (1983), que relaciona o sistema de coordenadas cartesiano e o terrestre, transformaram-se os CAPPiS para o sistema de latitude e longitude. Após este procedimento, utilizando-se o processo de navegação de imagens para o satélite GOES implementado por Conforte et alii (1983), obteve-se uma relação entre um ponto na superfície da terra (latitude, longitude) e um ponto na imagem do satélite (linha e elemento). Definiram-se assim, o sistema de coordenadas comum entre os CAPPiS e o satélite, que pode ser visto na Figura 4. A classificação é idêntica ao da Figura 2.

Para que o processo de composição das imagens fosse complementado, a imagem no canal visível teve que ser degradada, isto é, modificou-se a sua resolução espacial de  $1 \times 1\text{km}$  para  $8 \times 8\text{km}$ , através de uma média aritmética simples, tanto para as linhas como para os elementos. A visualização deste procedimento pode ser observada nas Figuras 5 e 6. Na Figura 5 tem-se uma imagem visível com sua resolução total ( $1 \times 1\text{km}$ ), enquanto que na Figura 6 a imagem visível é degradada ( $8 \times 8\text{km}$ ), aplicando-se o método acima descrito. A Figura 7 mostra uma imagem com pixels do tamanho  $8 \times 8\text{km}$ , infra.

Feito isto, obtiveram-se três imagens (radar, visível, infra) com a mesma resolução e num mesmo sistema de coordenadas, ou seja: para qualquer ponto na superfície (latitude, longitude) obtivemos a linha e elemento correspondente para todas as imagens com a mesma área e posição geográfica.

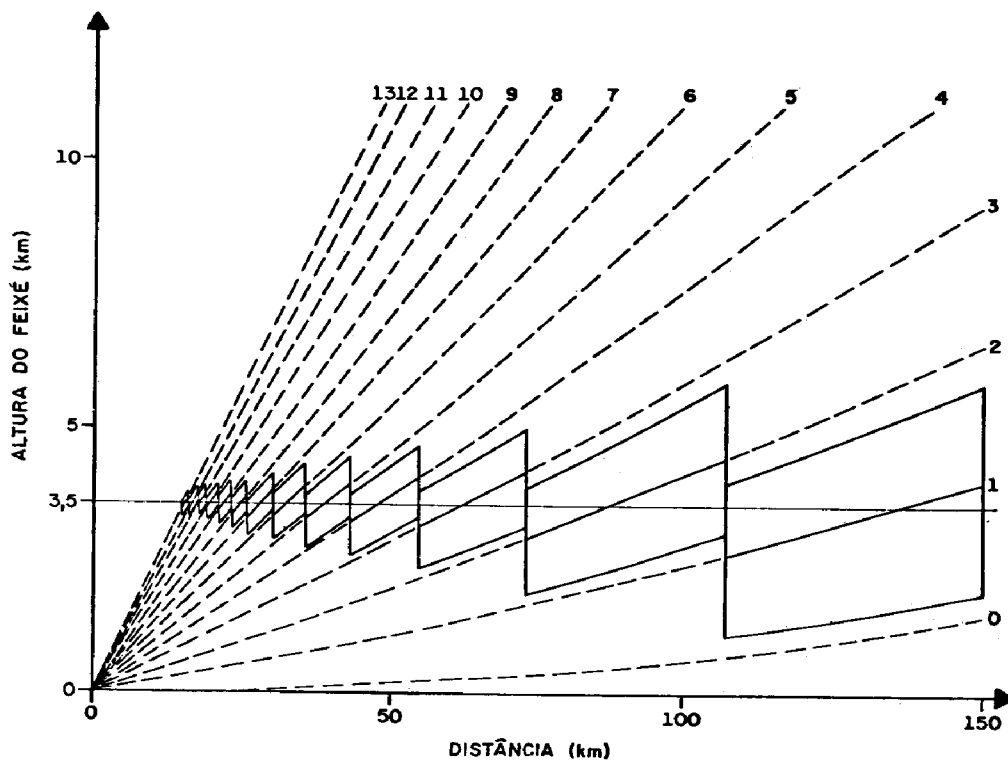


Fig. 1 - Formação do CAPPI.  
 FONTE: Massambani et alii 1983.

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE BAURU  
 INSTITUTO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS - PROJETO RADASP II  
 CAPPI DE 3.5 KM - ALCANCE 157.5 KM 10-FEV-83 16:40:40

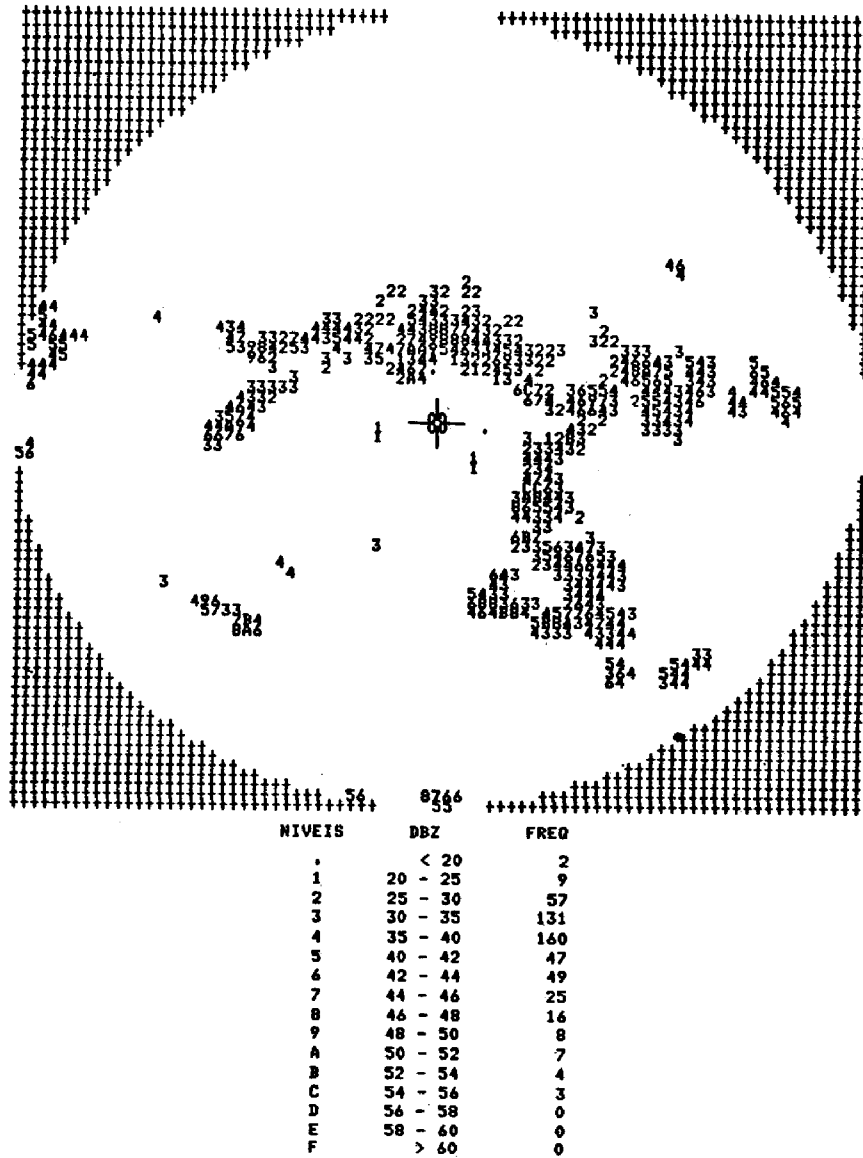


Fig. 2 - O CAPPI com resolução 4 x 4km.



NIVEIS	DBZ	FREQ
0	<20	1
1	20-25	4
2	25-30	37
3	30-35	77
4	35-40	103
5	40-42	37
6	42-44	30
7	44-46	17
8	46-48	8
9	48-50	7
A	50-52	3
B	52-54	4
C	54-56	7
D	56-58	0
E	58-60	0
F	>60	0

Fig. 3 - O CAPPI com resolução 8x 4km (a partir da média da Figura 2).

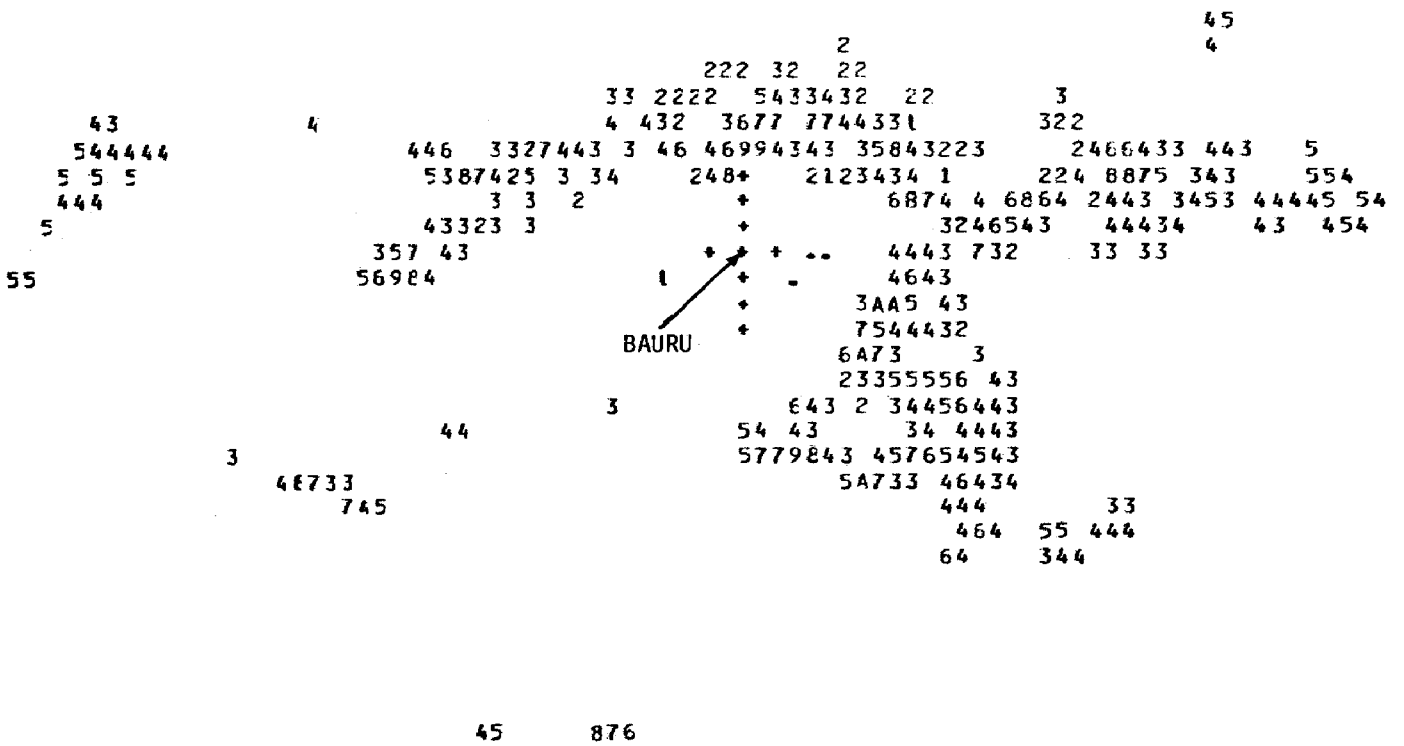


Fig. 4 - CAPPI nas mesmas coordenadas de uma imagem de satélite.

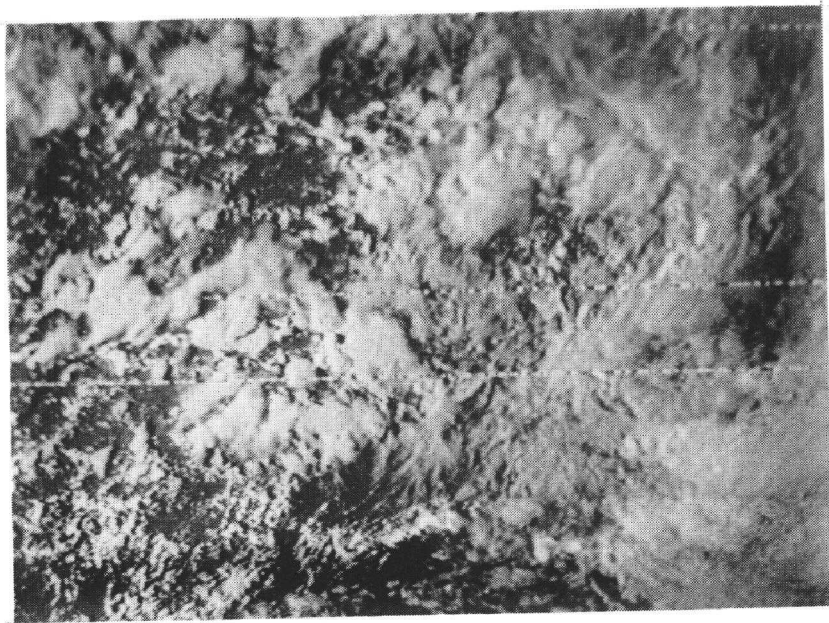


Fig. 5 - Imagem visível com resolução total (1x1km). Abrangendo partes da região sul, sudeste e centro-oeste.

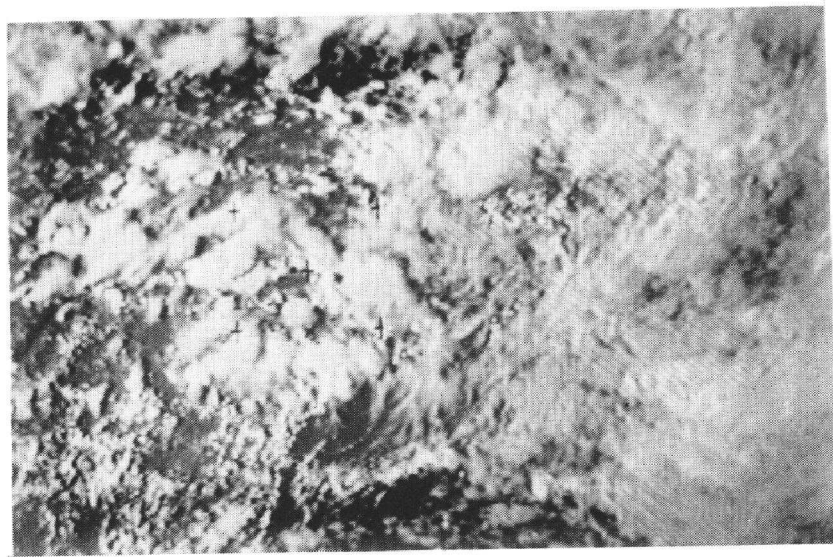


Fig. 6 - Imagem visível degradada (8x4km). Abrangendo a mesma região da figura anterior.

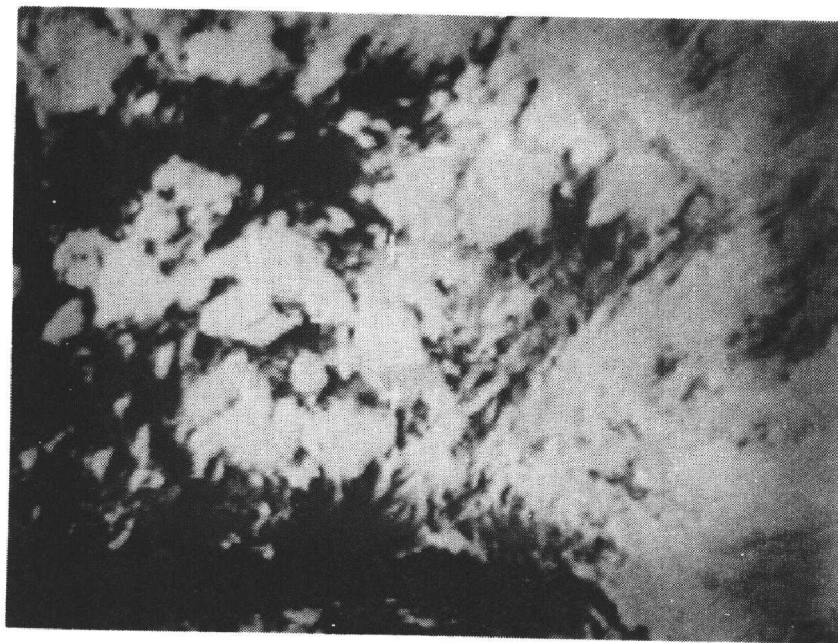


Fig. 7 - Imagem no canal infravermelho.

A Figura 8 mostra um exemplo de sobreposição do campo da refletividade do radar sobre uma imagem INFRA, e nela, a área constituída pelas linhas verticais, representa o campo de temperatura de  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $-45^{\circ}\text{C}$ , que indica a possível presença do processo Findeisen-Bergeron e alta probabilidade de formação de precipitação. As linhas inclinadas representam temperaturas inferiores a  $-45^{\circ}\text{C}$ , que indica a possível presença de precipitação convectiva Wilson e Roesli

(1985). Enquanto que a área constituída pelas linhas horizontais mostra o campo de refletividade obtida da Figura 4. Desta análise, obtivemos um total de 73% dos pontos de retorno do radar coincidentes com o campo de temperatura acima descrito, o que mostra a eficiência da aplicabilidade desta técnica para determinação do campo de rpecipitação.



Fig. 8 - Sobreposição das imagens INFRA com a refletividade do radar. As linhas verticais representam o campo de temperatura de  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $-45^{\circ}\text{C}$ , as linhas inclinadas representam o campo de temperatura inferior a  $-45^{\circ}\text{C}$  e as linhas horizontais indicam o campo de refletividade obtida pelo radar.



#### 4. COMENTÁRIOS E CONCLUSÃO

São apresentados a seguir alguns erros inerentes ao processo de sobreposição de imagens.

Para as imagens de satélite, segundo Tsonis (1984) este problema é causado pelo desalinhamento entre os sensores VIS e INFRA, sendo mais crítico para os satélites anteriores a 1981. Com o lançamento do GOES-5 este problema foi bastante reduzido.

Para a imagem do radar, embora reduzida à mesma resolução da imagem infra do satélite, uma mesma área delimitada nas duas imagens pode estar deslocada, tendo em vista a diferença de projeção dos dois sistemas, ou seja, pode haver a não coincidência de pontos correspondentes. Outras diferenças que podem aparecer no processo de sobreposição, podem ser atribuídas ao rebatimento no plano horizontal das áreas delimitadas pelo radar (CAPPI), efeito de curvatura da Terra, e ao efeito de paralaxe em nuvens.

Podemos concluir que a sobreposição de imagens de satélite nos canais infra, visível e de radar pode ser feita com uma margem de erro bastante reduzida (da ordem de 1 "pixel"). O que torna possível sua utilização, por exemplo na estimativa de precipitação, visando a obtenção de algoritmos objetivos, que permitem a determinação do campo de precipitação sobre quaisquer áreas cobertas por satélite e radar.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLON, A.; LOVEJOY, S.; AUSTIN, G.L. Combining Satellite and radar Data for the Short-Range Forecasting of Precipitation. *Monthly Weather Review*, 108(10):1554-1566, 1980.
- BROWNING, K.A. Conceptual Models of Precipitation Systems. *ESA Journal*, 9(2):157-180, 1985.
- CLARK, J.D., ed. The GOES User's Guide; Washington, D.C.; NOAA-NESDIS, June 1983.
- CONFORTE, J.C.; ARAI, N.; ALMEIDA, F.C. *Navegação das imagens dos satélites meteorológicos geostacionários*. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-2772-RPE/435).
- HEYMSFIELD, G.M.; GHOSH, K.K.; CHEN, C.L. In Interactive System for Compositing Digital Radar and Satellite Data. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22(5):706-713, 1983.
- LOVEJOY, S.; AUSTIN, G.L. The Delineation of Rain Areas from visible and IR Satellite Data from GATE and Mid-latitude. *Atmosphere Ocean*, 17(1):77-92, 1979.
- MASSAMBANI, O.; BRIGUENTI NETO, J.; CALHEIROS, R.V. A automação do Processamento de Dados de Precipitação obtidos por Radar Meteorológico em São Paulo. 1º CONAI- CONGRESSO NACIONAL DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 11 a 15 de junho de 1983.
- MARTIN, D.W.; SCHERER, W.D. Review of Satellite Rainfall Estimation Methods. *Bulletin American Meteorological Society*, 54(7):661-674, 1973.
- NEGRI, A.J.; ADLER, R.F. Relation of Satellite-Based Thunderstorm Intensity to radar-Estimating Rainfall. *Journal of Applied Meteorology*, 20(3):288-300, 1981.
- STOUT, J.E.; MARTIN, D.W.; SIKDAR, D.N. Estimating GATE Rainfall with Geosynchronous Satellite Images. *Monthly Weather Review*, 107(4):585-598, 1979.
- TSONIS, A.A.; ISAAC, G.A. On a New Approach for Instantaneous Rain Area Delineation in the Mid latitudes Using GOES Data. *Journal of Climate and applied Meteorology*, 24(11): 1208-1218, 1985.
- TSONIS, A.A. Determination and correction of the relative shift between the visible and thermal infrared GOES sensor images. *Int. J. Remote Sensing*, 5(6):975-979, 1984.
- WILSON, J.; ROESLI, H.P. Use of Doppler Radar Networks in Mesoscale. *Analysis and Forecasting*, 9(2):125-146, 1985.

#### AGRADECIMENTO

Os autores expressam seus agradecimentos aos operadores das estações de recepção de sinais do satélite GOES localizado em Cachoeira Paulista - SP (INPE) e do radar meteorológico em Bauru (FEB) e a todos que participaram do experimento RADASP II na coleta de dados, com os quais este trabalho foi desenvolvido, e a todos do sistema I-100 pelo suporte que tornou possível a análise visual das imagens. A datilógrafa Maria de Fátima Santana Massunaga, pela ajuda na confecção do trabalho.