

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO MEDIANTE SATELITE:
UM ESTUDO DE APLICAÇÃO AO ESTADO DO CEARÁ

CATI ELISA DE AVILA VALADÃO

Campina Grande - PB
Dezembro/1992

CATI ELISA DE AVILA VALADÃO

ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO MEDIANTE SATELITE:
UM ESTUDO DE APLICAÇÃO AO ESTADO DO CEARA

Dissertação apresentada ao Curso
de MESTRADO EM METEOROLOGIA da
Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento às exigências para
a obtenção do grau de Mestre.

AREA DE CONCENTRAÇÃO: *Meteorologia Aplicada*

JUAN CARLOS CEBALLOS
orientador

ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
co-orientador

Campina Grande - PB
Dezembro/1992



V136e Valadão, Cati Elisa de Ávila.
Estimativa de precipitação mediante satélite : um estudo de aplicação ao Estado do Ceará / Cati Elisa de Ávila Valadão. - Campina Grande, 1992.
75 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1992.
"Orientação : Prof. Juan Carlos Ceballos, Prof. Enilson Palmeira Cavalcanti".
Referências.

1. Precipitação Regional - Ceará (CE) - Meteorologia. 2. Técnica de Adler e Negri. 3. Método de Observação Meteorológica. 4. Dissertação - Meteorologia. I. Ceballos, Juan Carlos. II. Cavalcanti, Enilson Palmeira. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 551.501.8(813.1)(043)

ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO MEDIANTE SATELITE:
UM ESTUDO DE APLICAÇÃO AO ESTADO DO CEARÁ

CATI ELISA DE AVILA VALADÃO

DISSERTAÇÃO APROVADA COM DISTINÇÃO EM 17/12/92



JUAN CARLOS CEBALLOS
Orientador



ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Co-Orientador



JOSE ORIBE ROCHA DE ARAGÃO
Membro



FAUSTO CARLOS DE ALMEIDA
Membro

Campina Grande - PB
Dezembro/1992

RESUMO

O presente estudo investiga comportamento e limitações da técnica CST ("Convective-Stratiform Technique": ADLER e NEGRI, 1988) quando adaptada para totais diários de precipitação. São utilizadas apenas imagens horárias do canal infravermelho do METEOSAT-4 para o Estado do Ceará (épocas: março de 1991 e janeiro de 1992); totais diários de, no mínimo, 150 postos pertencentes à Rede Pluviométrica gerenciada pela FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) fornecem a "verdade terrestre".

Regressões obtidas com base em núcleos frios associados a um pixel evidenciaram que os parâmetros originais da técnica CST não permitem estimativas confiáveis de totais diários. Os coeficientes de correlação obtidos foram inferiores a 0,30. São discutidas possíveis causas deste resultado. O método não conduz a estimativas confiáveis mas permite delinear de forma aceitável áreas de precipitação na região.

O método de estimativa foi reformulado, considerando-se características espaciais e texturais das imagens, assim como alvos (áreas) ao invés de pixels isolados. Histogramas de frequência bivariada (com relação à temperatura e seu laplaciano) evidenciam a existência de duas classes de núcleos, associados em princípio à precipitação fraca (PF), com temperaturas T_2 entre 240K e 270K, e intensa (PI), com temperaturas T_1 inferiores a 240K. Para caracterizar alvos PF e PI, foram definidas variáveis associadas ao desvio da temperatura média com relação a dois limiares T_1 e T_2 . O ajuste linear bivariado da precipitação diária média com os valores acumulados dessas variáveis elevou a correlação a 0,6. Os resultados sugerem que ajustes ainda melhores poderiam ser obtidos com funções polinomiais. Entretanto, coeficientes de correlação da ordem de 0,56 já são obtidos por regressão linear simples, definindo-se uma variável associada apenas a T_1 , entre 240-250K.

Recomenda-se realizar estudos regionais, complementados com imagens dos canais VIS e de vapor d'água, visando caracterizar a evolução de sistemas locais. Em qualquer caso, é recomendável dispor de uma rede que forneça totais horários de precipitação regional.

ABSTRACT

The present work studies behavior and shortcomings of CST ("Convective-Stratiform Technique": Adler and Negri, 1988) when adapted to daily rainfall totals. Only hourly images of infrared channel of METEOSAT-4 are used for Ceara State (epochs: march 1991 and january 1992); daily rainfall totals of at least 150 stations managed by FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hidricos) furnish the "ground truth".

The use of the original CST parameters in linear regressions (based on temperature of cold centers associated to single pixels) makes evident that daily rainfall is not properly assessed. Correlation coefficients are lower than 0.30. Possible causes of disagreement are discussed. We conclude that the original CST parameters do not lead to reliable daily rainfall assessment but outlines, in a satisfactory but rather qualitative fashion, regions with associated rainfall.

Alternative assessment criteria are tested, which consider spatial and textural characteristics in images, as well as targets (areas) rather than single pixels. Bivariate frequency histograms for cold centers (related to temperature and its laplacian) show the existence of two classes, one of them associated to weak rainfall (PF), with temperatures T_2 between 240K and 270K, and the other to heavy rainfall (PI), with temperatures T_1 lower than 240K. In order to characterize PF and PI targets, a pair of new variables are considered (defined as accumulated deviation from thresholds T_1 and T_2). The Bivariate linear fit of these variables to average daily rainfall enhances the correlation up to 0.6 values. The results suggest that even better fitting could have been obtained with polynomial functions. However, correlation coefficients around 0.56 are already obtained by simple linear regressions defining a variable associated to T_1 alone, in the range 240-250K.

Further studies are recommended in order to better characterize time evolution of regional precipitating systems, complemented with visible and water vapor channels of satellite imagery. Anyway, the availability of hourly rainfall data as "ground truth" is strongly recommended.

.....
Guardo a poesia de passear contigo,
o teu braço no meu, pelas manhãs,

.....
De tudo o que me deste, guardo - e guardo
como quem guarda o sangue com que nasce -
a alegria de bailar nas madrugadas

.....
... Assim te guardo o amor:
como quem guarda o mar dentro do peito.

Thiago de Mello

- Para meu pai **DOLVANDINO**, in memorium.

A convivência foi tão pequena,
mas ficou o aconchego do colo, o doce carinho...

- Para **LEONTINA**, minha mãe;

para **CLEIA** e **IURI**, meu irmãos;

para **MANOEL**, meu cunhado e segundo pai;

e para o **ALAN**, meu sobrinho.

O carinho e a compreensão de vocês ajudaram
na construção de quem sou e na construção
deste momento.

- Para meus **AMIGOS**

- companheiros de incontáveis momentos -
e que sabem que "a loucura mora ao lado e
às vezes telefona". Sem o ombro, o carinho,
a paciência e o incentivo de vocês
chegar até aqui teria sido
muito mais difícil.

AGRADECIMENTOS

Aos professores JUAN CARLOS CEBALLOS e ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI pela imprescindível orientação e dedicação.

Ao professor PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO e sua família pela acolhida e apoio durante o curso.

Ao professor VANDIK ESTEVÃO BARBOSA pelo incentivo e pela sincera amizade.

A CARMEM, CLAUDIA e APARECIDA que, mais do que dividir um apartamento comigo, tiveram paciência para suportar meus períodos de mau humor, compartilhando bons e maus momentos juntas.

Ao ASSIS, companheiro. Por todos aqueles momentos difíceis que estive ao meu lado, atravessando-os comigo, pelo carinho que me encorajou a ir tecendo aos poucos este sonho.

A Dona AGOSTINHA, mãe do Assis, pelo carinho, acolhida e incentivo que me foram um afago durante a realização deste curso.

Ao LACAVALCA, MIRIAM, GIRLENE, BERNADETE, RAIMUNDO e GILDETE - companheiros do mestrado - pelo carinho e amizade que construímos.

A JOSE MARIA BRABO ALVES pelo envio de literatura que em muito contribuiu para a realização deste trabalho.

A DIRCEU LUIS HERDIES pela paciência, seleção, envio das imagens de satélite e incentivo.

A GENEBALDO DE AVELLAR NETO pelo apoio material nos trabalhos computacionais, sem o qual este trabalho não teria sido possível.

Aos PROFESSORES e FUNCIONARIOS do Departamento de Ciências Atmosféricas pela carinho e convivência.

Ao CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTIFICO E TECNOLÓGICO (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

A FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HIDRICOS (FUNCEME) pelo fornecimento dos dados, incentivo e apoio financeiro, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

Ao DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (DNMET -3^o DISME) pelo fornecimento dos registros pluviográficos.

E, finalmente, àquelas pessoas que das mais variadas formas e, nos mais variados momentos, expressaram seu carinho e companheirismo.

SUMARIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xv
Capítulo 1 - INTRODUÇÃO	01
1.1 - Monitoramento da Precipitação por Satélite	02
1.2 - A Precipitação na Região Nordeste do Brasil	04
1.3 - Antecedentes de Estudos no Brasil	07
1.4 - Objetivos deste Trabalho	08
Capítulo 2 - AREA DE INTERESSE, DADOS UTILIZADOS E PERIODO DE ESTUDO	09
2.1 - Dados de Superfície	09
2.2 - Imagens de Satélite	10
2.3 - Análise do Período Escolhido	11
Capítulo 3 - TOTAIS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO: UMA ADAPTAÇÃO DA TECNICA CST (ADLER E NEGRI)	25
3.1 - Métodos de Cálculo	27
3.2 - Resultados e Discussões	29

Capítulo 4 - TESTES DE UM METODO ALTERNATIVO	33
4.1 - Métodos de Cálculo	35
4.1.1 - Discriminação de Núcleos com Precipitação Provável	35
4.1.2 - Distribuição de Precipitação ..	36
4.1.3 - Relação entre Imagens METEOSAT-4 (IV) e Precipitação Diária	37
4.2 - Discussão dos Resultados	38
4.2.1 - Discriminação de Núcleos com Precipitação Provável	42
4.2.2 - Campos Interpolados: Precipita- ção Diária e Temperatura	49
4.2.3 - Avaliação da Precipitação Base- ada em Imagens	52
 Capítulo 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	 61
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 64
 ANEXOS	 69

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 - Nordeste do Brasil com suas zonas geográficas e incidências de seca (% anos)	06
Figura 2.1 - Evolução da nebulosidade sobre o Estado do Ceará no dia 16-17 de março de 1991 com o campo de temperatura correspondente, avaliada nos horários das: a) 09h; b) 12h; c) 15h; d) 18h, hora local .	13
Figura 2.1 - continuação	14
Figura 2.2 - a) Postos pluviométricos analisados no dia 16-17 de março de 1991; b) Campo de precipitação diária correspondente	15
Figura 2.3 - Evolução da nebulosidade sobre o Estado do Ceará no dia 19-20 de março de 1991 com o campo de temperatura correspondente, avaliada nos horários sinóticos padrão: a) 09h; b) 15h; c) 03h, hora local	16
Figura 2.3 - continuação	17
Figura 2.4 - a) Postos pluviométricos analisados no dia 19-20 de março de 1991;	

	b) Campo de precipitação diária correspondente	17
Figura 2.5	- Evolução da nebulosidade sobre o Estado do Ceará no dia 28-29 de janeiro de 1992 com o campo de temperatura correspondente, avaliada nos horários sinóticos padrão: a) 09h; b) 15h; c) 21h; d) 03h, hora local .	18
Figura 2.5	- continuação	19
Figura 2.6	- a) Postos pluviométricos analisados no dia 28-29 de janeiro de 1992; b) Campo de precipitação diária correspondente	20
Figura 2.7	- Evolução da nebulosidade sobre o Estado do Ceará no dia 29-30 de janeiro de 1992 com o campo de temperatura correspondente, avaliada nos horários sinóticos padrão: a) 09h; b) 15h; c) 21h; d) 03h, hora local .	22
Figura 2.7	- continuação	23
Figura 2.8	- a) Postos pluviométricos analisados no dia 29-30 de janeiro de 1992; b) Campo de precipitação diária correspondente	24
Figura 3.1	- Regressão linear obtida entre precipitação observada no posto pluviométrico e temperatura de brilho mínima local, situação de precipitação ocorrida em apenas 1 horário: a) dia 17 de março de 1991; b) dia 20 de março de 1991; c) dia 29 de janeiro de 1992; d) dia 30 de janeiro de 1992	32

Figura 4.1	- Efeitos da suavização causada por médias móveis espaciais de ordens 3 e 5 segundo um corte efetuado na linha 10 da imagem das 12 horas do dia 16 de março de 1991: a) temperatura de brilho (T_b); b) gradiente de T_b ; c) slope de T_b	39
Figura 4.2	- Efeitos da suavização causada por médias móveis espaciais de ordens 3 e 5 segundo um corte efetuado na linha 60 da imagem das 12 horas do dia 16 de março de 1991: a) temperatura de brilho (T_b); b) gradiente de T_b ; c) slope de T_b	40
Figura 4.3	- Avaliação dos efeitos qualitativos de suavizações: a) imagem de temperatura das 12 horas do dia 16 de março de 1991; b) suavização provocada por uma média móvel espacial de ordem 3; c) suavização provocada por uma média móvel espacial de ordem 5	41
Figura 4.4	- a) Histograma bidimensional para o dia 16-17 de março de 1991 dado por uma MM_3 ; b) Histograma bidimensional para o mesmo dia dado por uma MM_5	44
Figura 4.5	- a) Histograma bidimensional para o dia 19-20 de março de 1991 dado por uma MM_3 ; b) Histograma bidimensional para o mesmo dia dado por uma MM_5	45
Figura 4.6	- a) Histograma bidimensional para o dia 28-29 de janeiro de 1992 dado por uma MM_3 ;	

	b) Histograma bidimensional para o mesmo dia dado por uma MM_5	47
Figura 4.7	- a) Histograma bidimensional para o dia 29-30 de janeiro de 1992 dado por uma MM_3 ; b) Histograma bidimensional para o mesmo dia dado por uma MM_5	48
Figura 4.8	- Regressão linear obtida entre precipitação observada no posto pluviométrico e precipi- tação interpolada no posto para: a) dia 17 de março de 1991; b) dia 20 de março de 1991; c) dia 29 de janeiro de 1992; d) dia 30 de janeiro de 1992	50
Figura 4.9	- Comparação entre campos de precipitação para o dia 30 de janeiro de 1992, gerados pelo: a) Método 1; b) Método 2.....	51
Figura 4.10	- Precipitação observada vs. precipitação es- timada para os dias 29 e 30 de janeiro de 1992: a) Caso 1A; b) Caso 2B	54
Figura 4.11	- Coeficientes de correlação obtidos para di- versos limiares de temperatura (dias 29 e 30 de janeiro)	58
Figura 4.12	- Distribuição de alvos de precipitação ao lon- go do espectro de frequências acumuladas pa- ra os dias 29 e 30 de janeiro de 1992	60

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 2.1 - Dados utilizados neste estudo	10
Tabela 2.2 - Percentagem de ocorrência de precipitação e número de postos utilizados nos 4 dias estudados	21
Tabela 4.1 - Classes de temperatura X slope	42
Tabela 4.2 - Resumo das principais classes	49
Tabela 4.3 - Resumo dos critérios de regressão adotados para cada caso estudado	55
Tabela A.1 - Relação dos postos pluviométricos utilizados neste estudo com as precipitações observadas para cada dia	70
Tabela A.2 - Conversão nível de cinza/radiância/temperatura para canal infravermelho do METEOSAT-4 ...	75

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O hemisfério sul difere significativamente do hemisfério norte, no tocante a sua grande extensão oceânica. Isto traz dificuldades consideráveis para a Meteorologia no que se refere à cobertura observacional, sem falar que a parte continental possui uma rede bastante esparsa. A observação se aplica ao Brasil, dada sua grande extensão territorial (exceção feita à região Nordeste). Com esta deficiência observacional a análise meteorológica torna-se uma tarefa difícil de ser realizada.

As irregularidades climáticas afetam profundamente as condições sócio-econômicas de qualquer região; por isso o conhecimento do regime de precipitação torna-se de fundamental importância para as atividades agrícolas, contribuindo à implementação de projetos agrícolas e ao gerenciamento dos recursos hídricos. Desta forma a existência de um meio que permita o monitoramento da precipitação em tempo quase real torna-se de grande relevância.

A precipitação é um dos elementos meteorológicos mais variáveis no que se refere a frequência, duração, intensidade e distribuição espacial, podendo ainda apresentar-se na forma de chuva, neve ou granizo. Desta forma o monitoramento da precipitação por meios convencionais apresenta algumas dificuldades, tais como: 1) custos elevados da montagem de estações automáticas em áreas despovoadas; 2) obtenção das informações de toda a rede em tempo real.

1.1 - Monitoramento da Precipitação por Satélite

Os satélites meteorológicos surgiram na década de 60, tendo sido desenvolvidos muitos métodos com o objetivo de fazer uma estimativa da precipitação. O uso de dados de satélite apresenta duas grandes vantagens, que são a grande área que estes são capazes de cobrir (possibilitando observações que possuem continuidade espacial e temporal), e a obtenção de informação em tempo quase real. Todavia, os métodos de sensoriamento remoto precisam de observações à superfície para fins de calibração. Apesar dos erros de medida apresentados por pluviômetros e pluviógrafos, estes instrumentos ainda são os que possibilitam uma medida mais precisa da precipitação, fornecendo a "verdade terrestre" requerida.

Quando se trabalha com imagens de satélite, três tipos de informações podem ser distinguidos (TSONIS, 1984): espectral, espacial e suplementar. A informação espectral refere-se à radiação emergente da atmosfera, em uma ou mais bandas de frequência (por exemplo, o METEOSAT opera nas bandas do infravermelho, do visível e do vapor d'água). A banda do infravermelho (10,5-12,5 μm) informa sobre a temperatura do topo de nuvens e temperatura da superfície (solo ou água). A banda do visível (0,5-0,9 μm) informa sobre a radiação solar refletida pelas nuvens e superfícies. A banda do vapor d'água (5,7-7,1 μm) ilustra a temperatura de brilho associada à absorção/emissão por vapor d'água e nuvens na troposfera superior. A informação espacial refere-se às "regularidades" das propriedades observadas na imagem, ou seja, está associada à textura da imagem, ao passo que a informação suplementar é externa à imagem e provém do usuário. Tem-se ainda as informações temporais, permitindo um acompanhamento quase contínuo dos sistemas e possibilitando a obtenção de informações em tempo quase real. Muitos métodos utilizam uma ou a combinação de várias destas informações para estimar precipitação, sendo que os melhores resultados parecem encontrar-se nestes últimos.

No livro de BARRETT e MARTIN (1981) encontra-se uma revisão dos métodos de estimativa de precipitação através de satélite que surgiram à partir dos anos 60. Eles classificam os métodos de estimativa em três tipos: métodos de indexação de nuvens, métodos de evolução temporal e métodos biespectrais. Os primeiros tiveram como centro de origem o Laboratório de Climatologia Aplicada do Departamento de Geografia da Universidade de Bristol (Reino Unido) e o Grupo de Aplicações do Serviço Nacional de Satélites Ambientais (NESS) da NOAA (USA). O método de Bristol tinha uma aplicação mais climatológica, ao passo que o método do NESS partiu de modificações feitas naquele atribuindo-lhe uso diário. Os métodos de evolução temporal e métodos biespectrais tiveram muitos pesquisadores empenhados em desenvolvê-los e otimizá-los (GRIFFITH et al., 1978; STOUT et al., 1979; LOVEJOY e AUSTIN, 1979; AUGUSTINE et al., 1981; GRIFFITH et al., 1981; GARCIA, 1981; MARTIN e HOWLAND, 1986; SCOFIELD, 1987).

Em meados dos anos 70 os satélites ambientais começaram a operar na banda de microondas. Este fato encorajou vários pesquisadores a investigar estimativas de precipitação utilizando este canal, dada a forte relação existente entre precipitação e radiação de microondas. Entretanto a desvantagem do uso de métodos que utilizam canal de microondas deve-se a estes não serem apropriados para áreas continentais devido à grande emissividade da superfície terrestre, além de que satélites ambientais apresentam uma baixa resolução espacial e temporal (RICHARDS e ARKIN, 1981).

Uma comparação quantitativa entre métodos de estimativa torna-se difícil devido a estes terem sido desenvolvidos para diferentes áreas geográficas e com diferentes propósitos (WYLIE e LAITSCH, 1983). Alguns métodos foram desenvolvidos com o intuito de separar os diferentes tipos de nuvens de forma a auxiliar na detecção de áreas de precipitação (TSONIS, 1984; TSONIS e ISAAC, 1985), outros buscavam uma relação entre precipitação e cobertura de nuvens (ARKIN, 1979; RICHARDS e ARKIN, 1981); porém, a maioria dos métodos de estimativa e mesmo os que buscavam apenas a

detecção de áreas de chuva utilizaram-se de radar meteorológico ou de uma rede de estações automáticas como "verdade terrestre", o que torna seu uso impraticável em regiões nas quais não se disponha destes instrumentos. Existe também o fato de que métodos biespectrais que utilizam canal visível (p. ex. SEZE e DESBOIS, 1987) são viáveis apenas durante o dia e métodos que utilizam canal de vapor d'água para tentar filtrar cirrus (SZEJWACH, 1982; DESBOIS et al., 1982) ficam condicionados a dispor-se deste canal. Este fato sugere o uso de um método que permita utilizar apenas o canal infravermelho, "porém aprimorando a informação espacial contida nas imagens".

ADLER e NEGRI (1988) desenvolveram uma técnica de filtragem de nuvens convectivas e estratiformes (CST:"Convective-Stratiform Technique") baseada apenas em informações no infravermelho. Os parâmetros relativos à precipitação foram determinados com base num modelo de nuvem unidimensional desenvolvido para a Flórida por ADLER e MACK (1984), dando ao modelo um forte embasamento físico. A comparação com dados de "verdade terrestre" (radar e pluviômetros) evidenciou-se satisfatória. Por outro lado, a comparação do método feita com três outras técnicas mostrou que este parecia mais eficiente.

1.2 - A Precipitação na Região Nordeste do Brasil

A região Nordeste do Brasil (NEB) é uma das mais afetadas pelas irregularidades climáticas, apresentando anomalias de precipitação que causam problemas sociais e econômicos com reflexos no país inteiro. Cerca de metade da região é semi-árida, com boa parte da população concentrada nesta área; a precipitação média anual apresenta-se em torno de 400-800 mm, sendo a evaporação potencial média anual bastante elevada (em torno de 2000 mm). Segundo MAGALHAES et al. (1987) existem, em média, entre 18 e 20 anos de seca para cada período de 1 século, com conseqüências mais drásticas na zona semi-árida. A figura 1.1 ilustra algumas

características da Região Nordeste. Observa-se que o Estado do Ceará está entre os mais afetados pela incidência de anos considerados secos. Cerca de 88,7% da produção agrícola deste Estado encontra-se na faixa semi-árida. Vários pesquisadores têm voltado sua atenção para estudos sub-regionais da pluviometria no NEB. O Estado do Ceará, em especial, tem sido objeto de muitos estudos visando melhor compreender as anomalias desta região (KAYANO et al., 1991; ALVES e KAYANO, 1991; ALVES e DINIZ, 1992; REPELLI e ALVES, 1992; ALVES et al., 1992; ALVES e REPELLI, 1992).

A precipitação no Ceará, geralmente produzida por nuvens convectivas, é influenciada por diversos sistemas atmosféricos. A estação chuvosa distribui-se em dois quadrimestres, sendo que os setores norte e central apresentam o quadrimestre mais chuvoso de fevereiro a maio, enquanto que no setor sul (Cariri) a estação chuvosa ocorre de janeiro a abril. ALVES e DINIZ (1992) fizeram um estudo dos principais sistemas atmosféricos que influenciam a distribuição de precipitação nos setores norte, central e sul do Estado do Ceará. Entre eles tem-se: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS), estes dois agindo principalmente durante a estação de verão; as Linhas de Instabilidade (LI), que atuam mais no litoral e adjacências da parte norte; os sistemas convectivos que se formam sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul e se propagam de leste para oeste (ANC), e as Frentes Frias (FF) provenientes das latitudes subtropicais que afetam o norte do NEB e induzem a formação de nebulosidade convectiva nesta região. A precipitação nos setores norte e central está diretamente associada ao deslocamento da ZCIT, embora o setor sul também sofra influência deste sistema, a precipitação neste associa-se à influência de sistemas frontais. Segundo ALVES e KAYANO (1991) a estação chuvosa do Cariri é influenciada pela atividade convectiva local produzida pelo aquecimento diurno, por sistemas frontais e vórtices ciclônicos de altos níveis no início e na pré-estação e pela ZCIT no final da estação.

Uma vez que a precipitação é crucial para a economia da

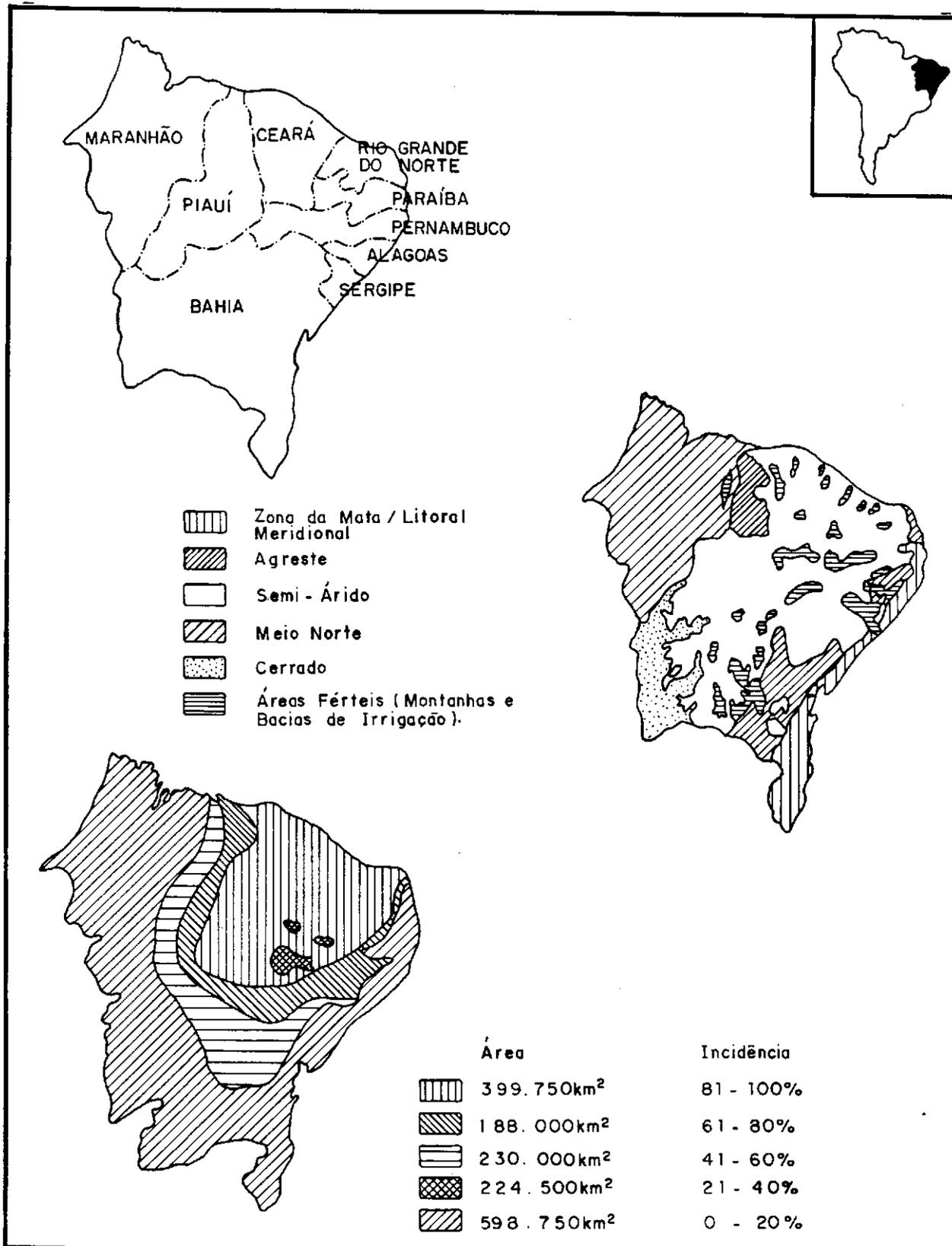


Figura 1.1 - Nordeste do Brasil com suas zonas geográficas e incidências de seca (% anos).
 Fonte: Adaptada de Magalhães et al. (1987).

região, o seu monitoramento permitiria melhor conhecer sua distribuição espacial e temporal, auxiliando num gerenciamento racional de recursos hídricos e contribuindo para a organização de calendários agrícolas que minimizem perdas.

1.3 - Antecedentes de Estudos no Brasil

Dadas as dificuldades mencionadas para o Brasil, a estimativa de precipitação mediante satélite evidencia-se como método com grande importância potencial. Entretanto, poucos estudos surgiram nesta área até 1991. Por exemplo, CONFORTE et al. (1984), ALVES (1988), FRANÇA (1989) e FRANÇA et al. (1990) utilizaram métodos biespectrais para a determinação de áreas de chuva na região de Bauru; por outro lado CARVALHO e MASSAMBANI (1990) utilizaram análise de textura do canal infravermelho, associada a pontos com temperatura de brilho mínima local na região de Bauru, visando caracterizar diferentes estágios de evolução da convecção.

Especificamente, podem ser mencionados dois trabalhos na região Nordeste. ALBERGA et al. (1991) aplicaram a técnica CST no Estado do Ceará, encontrando razoável correspondência qualitativa entre campos de precipitação estimados por satélite e ocorrência de precipitação nos diversos municípios do estado. MORAES (1992) aplicou a técnica para a bacia do rio Curu, no mesmo estado. Os resultados indicam uma concordância evidente entre satélite e "verdade terrestre" para os totais diários acumulados progressivamente ao longo de 8 dias. O mesmo autor cita mais duas aplicações do método para a bacia do rio Pardo, São Paulo. Os resultados de ALBERGA et al. sugerem que o método CST permite pelo menos delinear áreas com precipitação. A questão de uma efetiva calibração do método fica em aberto.

1.4 - Objetivos deste Trabalho

O presente trabalho busca contribuir à estimativa da precipitação mediante satélite, utilizando informações do canal IV do METEOSAT-4. Especificamente, procura: 1) avaliar a qualidade do método CST quando aplicado a totais diários, considerando-se que os dados usuais de "verdade terrestre" se referem a leituras de pluviômetros realizadas uma vez por dia; 2) tentar ajustar o método às condições regionais. A região em estudo é o Estado do Ceará.

O capítulo 2 descreve os dados utilizados e as características da precipitação durante o período de análise.

O capítulo 3 analisa a aplicação estrita do método CST, descrito por Adler e Negri mas adaptada para comparação com totais diários medidos à superfície.

O capítulo 4 descreve resultados de diversas tentativas de ajustar dados de satélite aos totais diários da região.

O capítulo 5 mostra as conclusões a que este estudo chegou e apresenta algumas sugestões.

Capítulo 2

AREA DE INTERESSE, DADOS UTILIZADOS E PERIODO DE ESTUDO

A área de interesse neste estudo é o Estado do Ceará, compreendido entre as latitudes de $2^{\circ}46'$ - $7^{\circ}52'S$ e entre as longitudes de $37^{\circ}14'$ - $41^{\circ}24'W$, abrangendo uma área de aproximadamente 148.000 Km^2 . Os dados disponíveis foram fornecidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e correspondem a dias em que ocorreu precipitação caracterizada como fraca, moderada e forte na maior parte do estado. Os dias escolhidos foram 17 e 20 de março de 1991 e 29 e 30 de janeiro de 1992.

2.1 - Dados de Superfície

Como "verdade terrestre" foram utilizados totais diários de precipitação observada para os dias referidos, obtidos por pluviômetros pertencentes à Rede Pluviométrica gerenciada pela FUNCEME. Cada dia contou com informações de, no mínimo, 150 postos pluviométricos. Registros pluviográficos de 6 estações no estado, fornecidos pelo DNMET (3.^o DISME) revelaram-se insuficientes para descrever a distribuição geográfica da taxa de precipitação, e não puderam ser aproveitados neste estudo. A coleta de dados da Rede é feita às 7 horas de cada dia, correspondendo ao acumulado das últimas 24 horas. A relação dos postos pluviométricos bem como a quantidade de precipitação observada para cada dia encontra-se na tabela A.1 (anexos).

2.2 - Imagens de Satélite

Foram utilizadas imagens digitais horárias obtidas através do satélite meteorológico europeu METEOSAT-4, canal infravermelho (10,5-12,5 μm). As imagens eram de 10.000 pixels (125 linhas X 80 colunas), abrangendo o Estado do Ceará. Os arquivos binários contendo a informação foram processados utilizando-se de microcomputador compatível PC-XT, mediante programas na linguagem "quick basic".

A área de um pixel em imagens do METEOSAT é de aproximadamente 5 X 5 Km no ponto subsatélite ($0^{\circ}\text{S}, 0^{\circ}\text{W}$). Na região em estudo, pode-se esperar um fator de deformação da ordem de 1,40 no sentido E-W. O nível de cinza no infravermelho varia de 0 a 255 e fornece informação sobre temperatura de brilho (topo de nuvens, se estas são extensas e opticamente espessas; solo ou oceano, na ausência de nuvens). A conversão de nível de cinza para temperatura é feita com base na tabela de calibração para o canal infravermelho do METEOSAT-4 (tabela A.2/anexos).

Uma vez que os dados de precipitação foram coletados às 7 horas de cada dia, foram utilizadas imagens a partir das 8 horas do dia antecedente até às 7 horas do dia em questão (veja tabela 2.1). Os horários indicados na tabela correspondem à hora local (Brasília).

Tabela 2.1 - Dados utilizados neste estudo

Dia	Data/Horários	N. ^o de Imagens	N. ^o de Postos
17.03.91	16/08-22 e 17/ -	14	200
20.03.91	19/08-20 e 20/00-07	20	199
29.01.92	28/08-23 e 29/00-07	22	177
30.01.92	29/08-23 e 30/00-07	23	156

2.3 - Análise do Período Escolhido

A ZCIT foi o principal sistema atmosférico que provocou precipitação no mês de março de 1991, quando alcançou sua posição mais meridional em comparação com o início do ano (Monitor Climático N.º 48, 1991). Já a precipitação ocorrida em janeiro de 1992 foi provocada devido à interação de vários sistemas que garantiram a persistência de uma região de convergência sobre o NEB (Monitor Climático N.º 58, 1992).

a) Dia 16-17 de março de 1991

Como este dia foi o que apresentou o menor número de imagens disponíveis a descrição será feita de 3 em 3 horas, indo até as 18 horas (figuras 2.1). As figuras que ilustram a nebulosidade são o negativo da imagem de temperatura de brilho; a área hachurada clara corresponde a regiões com $240 \text{ K} < T_b < 253 \text{ K}$ e a escura indica regiões com $T_b \leq 240 \text{ K}$. Junto delas são representados os campos de temperatura de brilho a fim de melhor detalhar seu comportamento.

Observa-se que o Ceará se encontrava praticamente encoberto durante todo o período disponível para análise. A precipitação ocorreu em cerca de 158 postos dentre um total de 200 postos pluviométricos que forneceram informação para este dia. Por volta de 46% destes mediram precipitações inferiores a 10 mm e somente 6% ultrapassaram os 50 mm (o máximo foi de aproximadamente 110 mm). Esta situação caracterizou um dia com precipitação moderada. As figuras 2.2 apresentam os postos pluviométricos utilizados neste dia e o campo de precipitação correspondente.

Devido aos demais dias apresentarem maior número de imagens as figuras de evolução da nebulosidade serão mostradas de 6 em 6 horas (hora local) de acordo com as imagens disponíveis.

b) Dia 19-20 de março de 1991

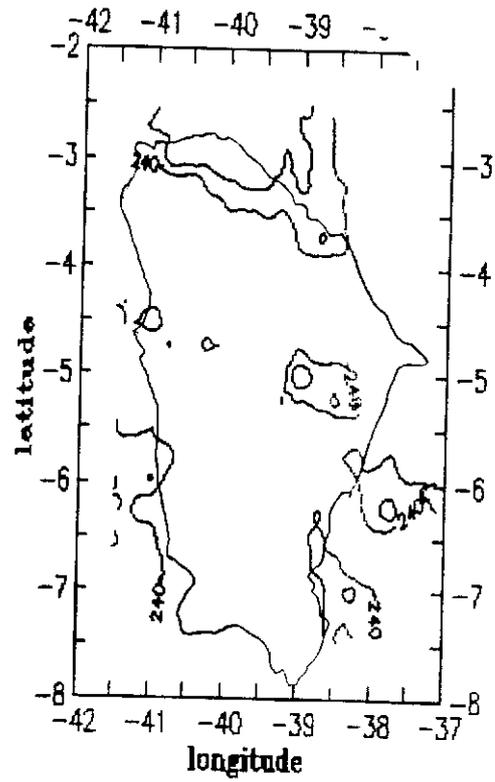
Nas figuras 2.3 pode-se observar o avanço da nebulosidade sobre a região, evidenciando que o dia 20 teve como característica a presença de pouca nebulosidade sobre o Estado. Dos 199 postos pluviométricos analisados, 20% destes mediram precipitações inferiores a 10 mm e apenas 8% tiveram valores acima de 10 mm, sendo o máximo em torno de 34 mm (figuras 2.4). Apenas em 54 postos ocorreu precipitação, caracterizando 20 de março como um dia com precipitação fraca.

c) Dia 28-29 de janeiro de 1992

Caracterizou-se por uma nebulosidade que avançou ao longo do dia e manteve a região praticamente encoberta durante todo o período, provocando precipitação em quase todo o Estado (figuras 2.5). Em 153 dos 177 postos ocorreu precipitação, sendo que 33% teve precipitações inferiores a 10 mm, 47% entre 11 e 50 mm e 6% superiores a 50 mm, com um máximo por volta dos 71 mm (figuras 2.6).



a



b

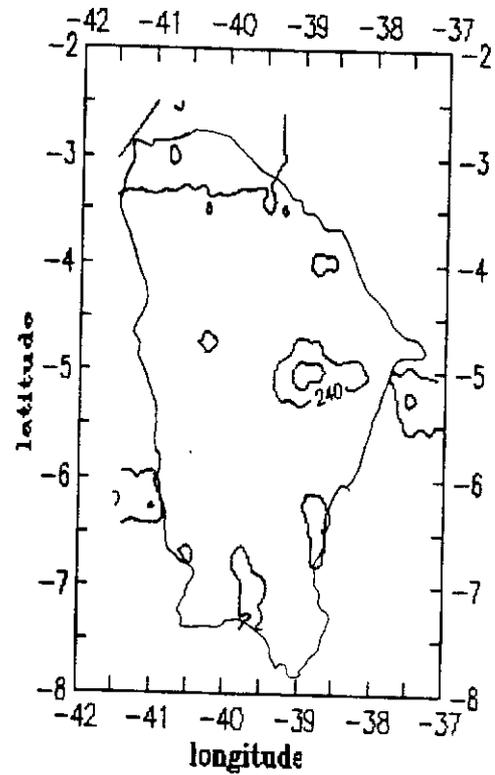
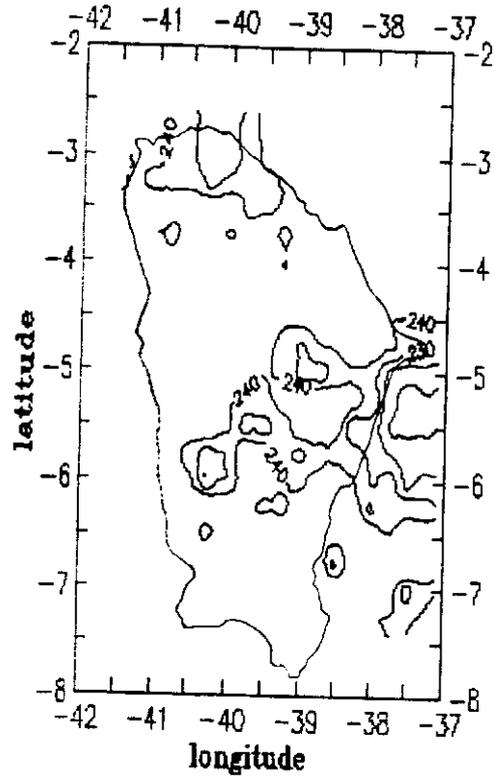


Figura 2.1 - Evolução da nebulosidade sobre o Estado do Ceará no dia 16-17 de março de 1991 com o campo de temperatura correspondente, avaliada nos horários das:
a) 09h; b) 12h; c) 15h; d) 18h, hora local.



c



d

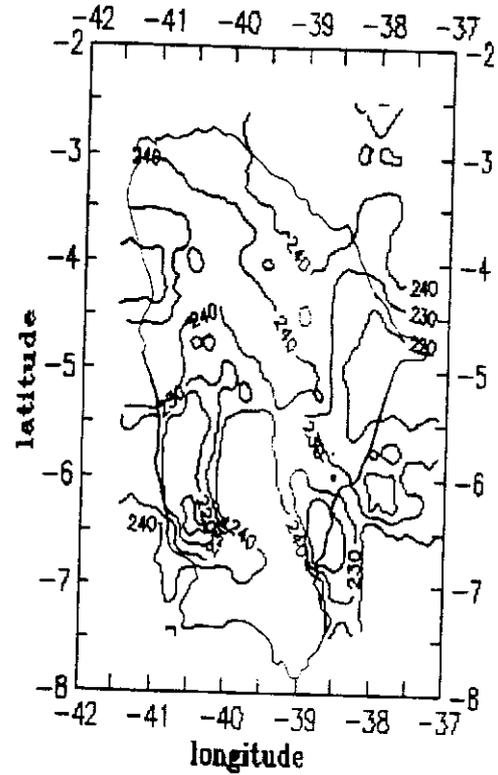


Figura 2.1 - continuação

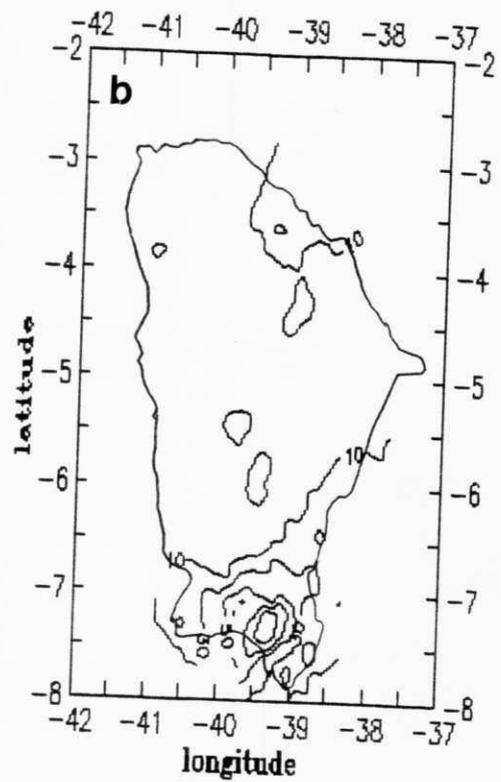
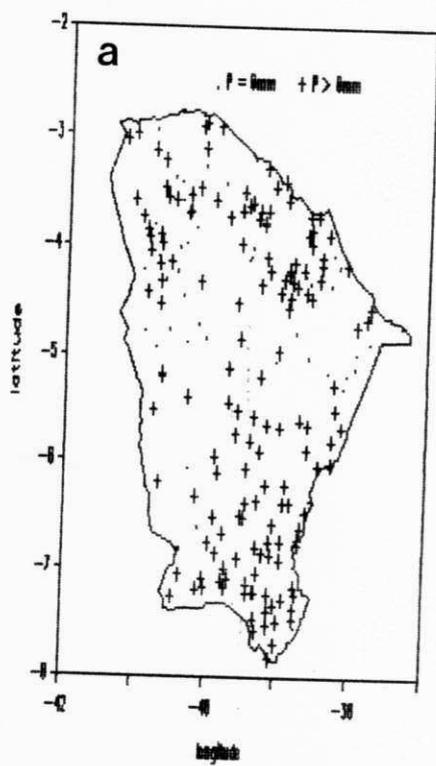
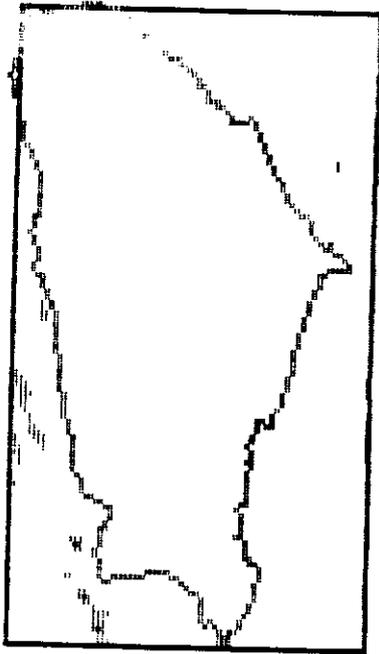
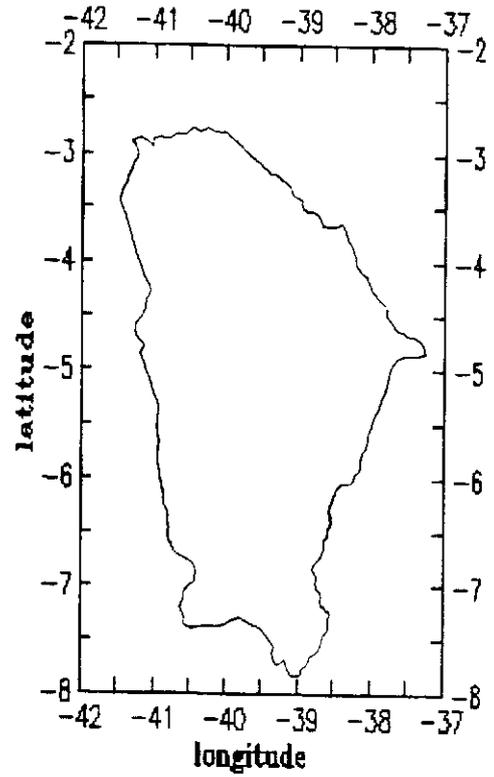


Figura 2.2 - a) Postos pluviométricos analisados no dia 16-17 de março de 1991,
 b) Campo de precipitação diária correspondente.



a



b

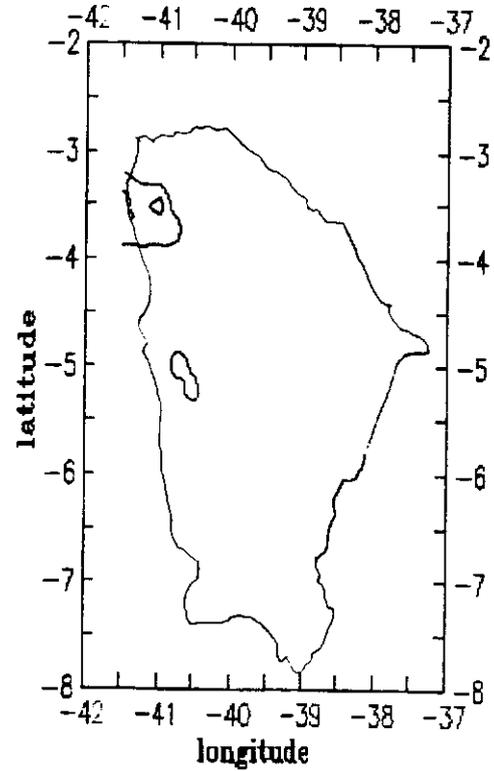
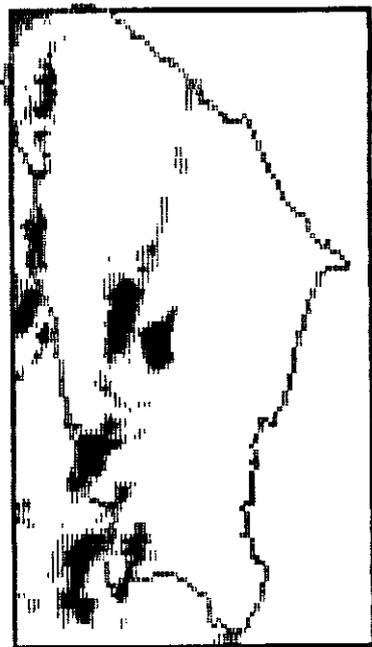


Figura 2.3 - Evolução da nebulosidade sobre o Estado do Ceará no dia 19-20 de março de 1991 com o campo de temperatura correspondente, avaliada nos horários sinóticos padrão: a) 09h; b) 15h; c) 03h, hora local.



c

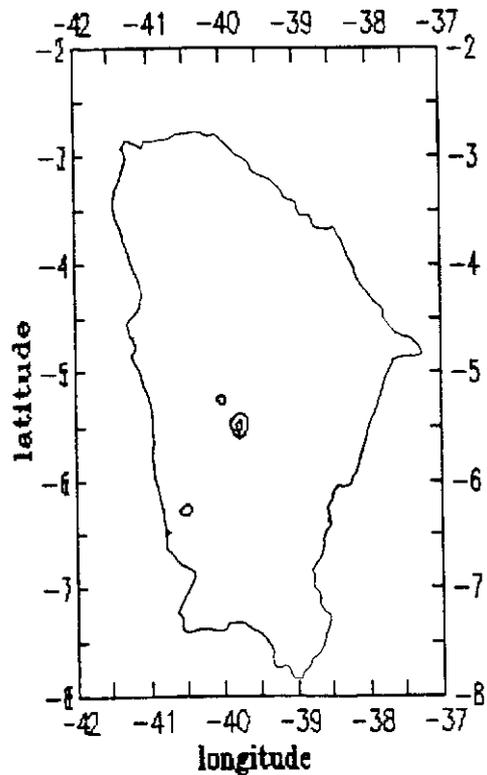


Figura 2.3 - continuação

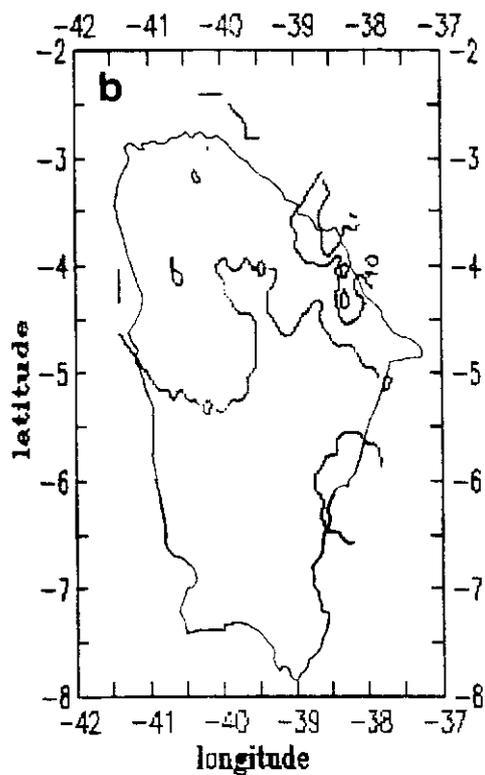
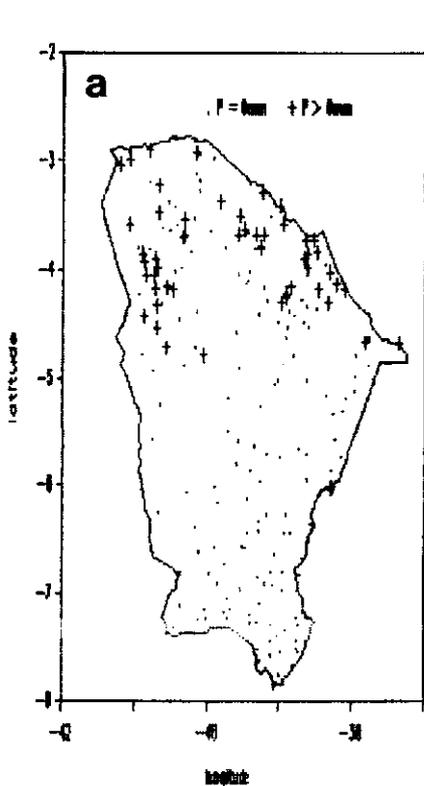
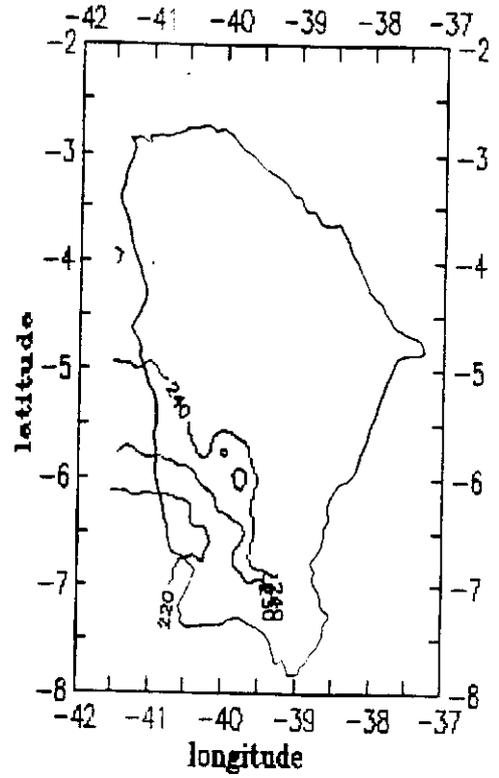


Figura 2.4 - a) Postos pluviométricos analisados no dia 19-20 de março de 1991,
 b) Campo de precipitação diária correspondente.



a



b

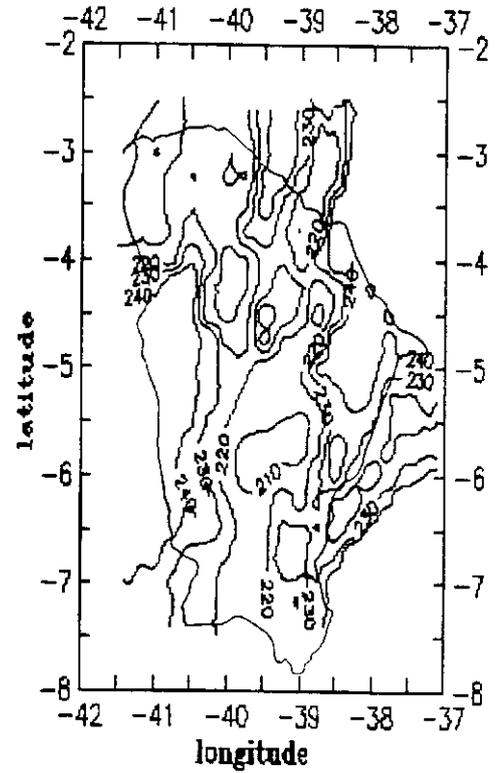
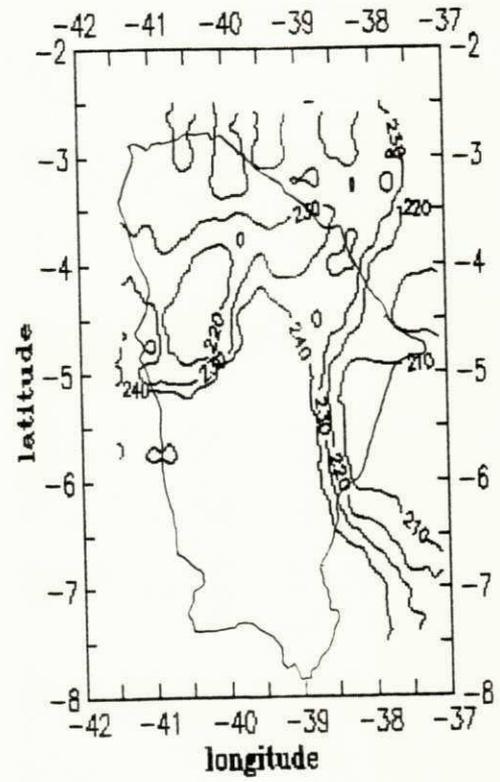


Figura 2.5 - Evolução da nebulosidade sobre o Estado do Ceará no dia 28-29 de janeiro de 1992 com o campo de temperatura correspondente, avaliada nos horários sinóticos padrão: a) 09h; b) 15h; c) 21h; d) 03h, hora local.



c



d

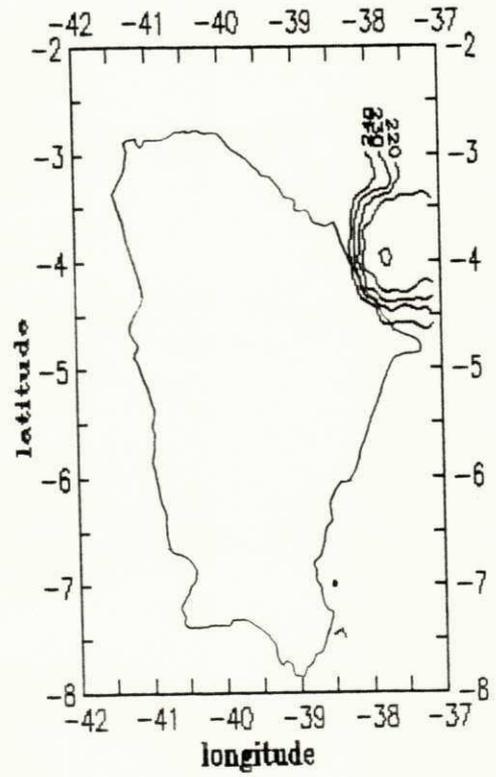


Figura 2.5 - continuação

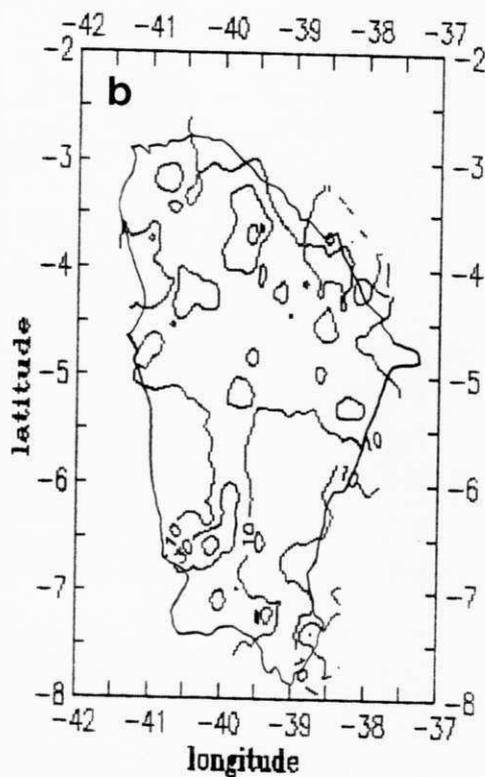
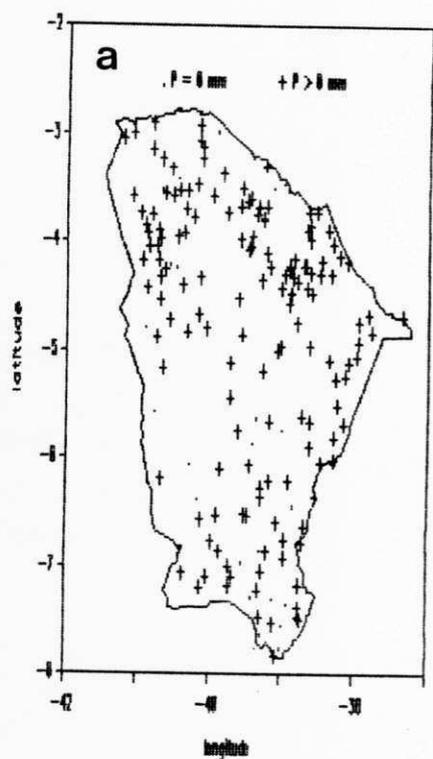


Figura 2.6 - a) Postos pluviométricos analisados no dia 28-29 de janeiro de 1992,
 b) Campo de precipitação diária correspondente.

d) Dia 29-30 de janeiro de 1992

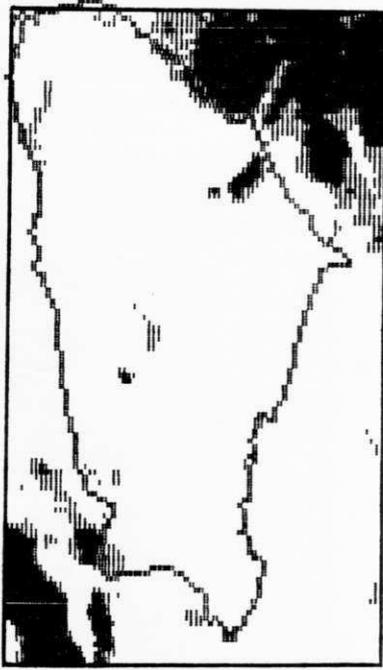
Este dia apresentou características semelhantes ao anterior, havendo um aumento no número de postos com precipitação superior a 50 mm. Dos 156 postos utilizados na análise, 135 observaram precipitação no dia 30, tendo 31% precipitações inferiores a 10 mm, 40% entre 11 e 50 mm e 15% obtiveram precipitações superiores a 50 mm (o máximo foi em torno de 165 mm). As figuras 2.7 mostram a evolução da nebulosidade ao longo deste dia e as figuras 2.8 os postos pluviométricos utilizados com o campo de precipitação correspondente.

Uma vez que tanto o dia 29 quanto 30 de janeiro de 1992 tiveram características semelhantes, ambos foram caracterizados como dias com precipitação forte.

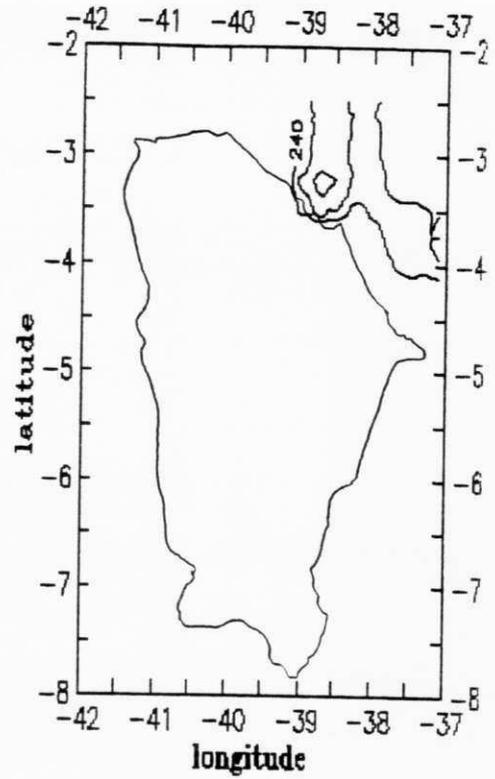
Um resumo das características dos 4 dias estudados pode ser visto na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Percentagem de ocorrência de precipitação e n^o de postos utilizados nos 4 dias estudados

	17.03.91	20.03.91	29.01.92	30.01.92
P(= 0 mm)	21%	72%	14%	14%
P(< 10 mm)	46%	20%	33%	31%
P(11-50 mm)	27%	8%	47%	40%
P(> 50 mm)	6%	-	6%	15%
Postos com Prec.	158	54	153	135
Total de Postos	200	199	177	156



a



b

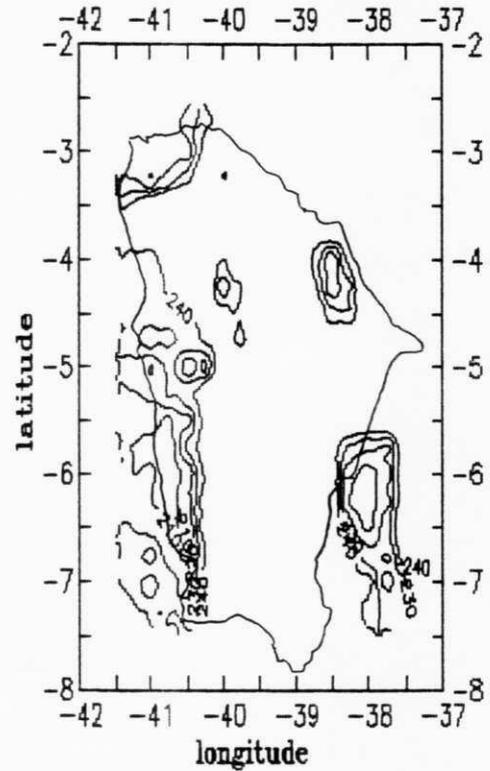
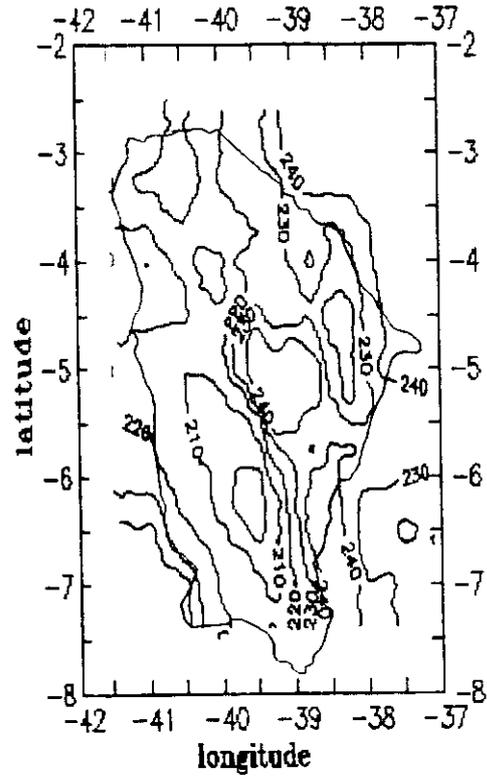


Figura 2.7 - Evolução da nebulosidade sobre o Estado do Ceará no dia 29-30 de janeiro de 1992 com o campo de temperatura correspondente, avaliada nos horários sinóticos padrão: a) 09h; b) 15h; c) 21h; d) 03h, hora local.



c



d

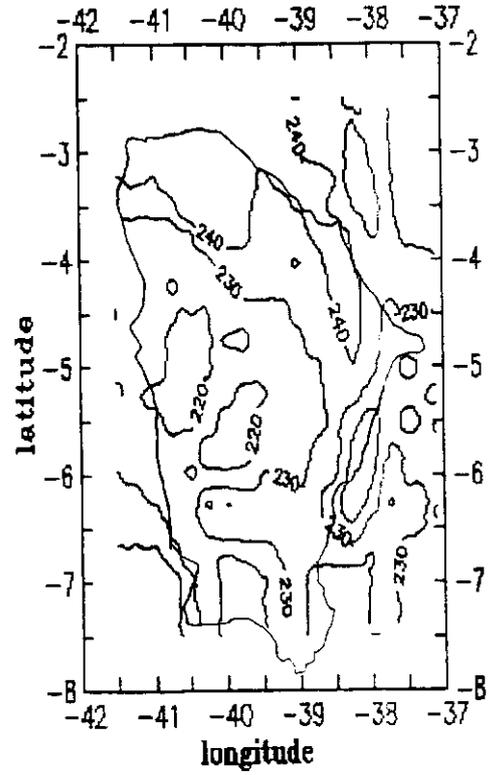


Figura 2.7 - continuação

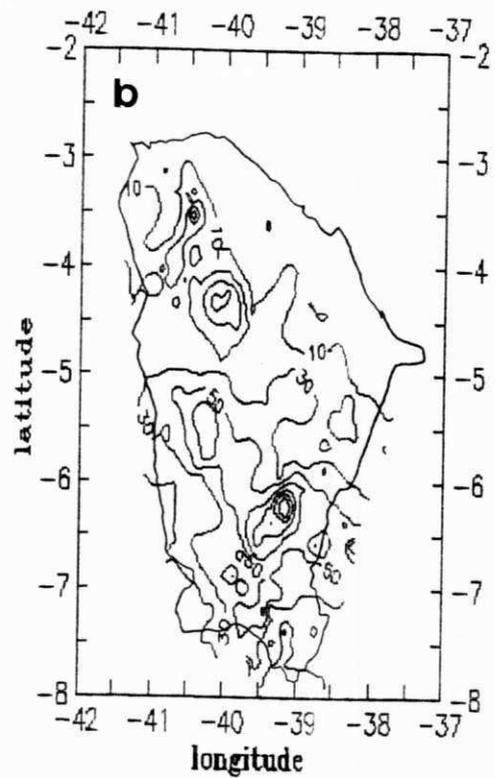
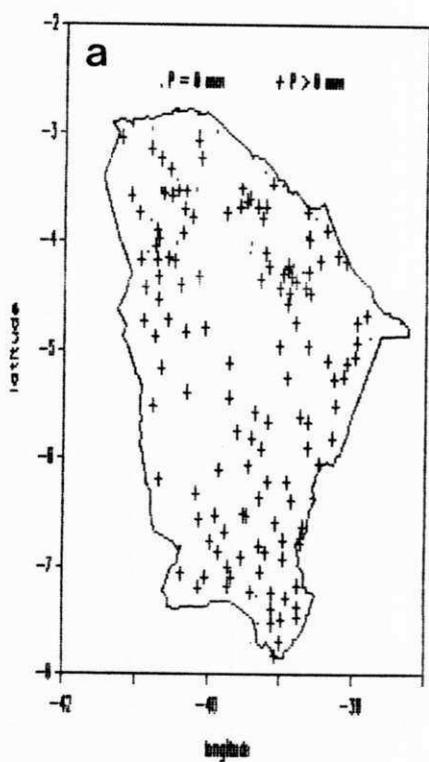


Figura 2.8 - a) Postos pluviométricos analisados no dia 29-30 de janeiro de 1992,
 b) Campo de precipitação diária correspondente.

Capítulo 3

TOTAIS DIARIOS DE PRECIPITAÇÃO: UMA ADAPTAÇÃO DA TÉCNICA CST (ADLER E NEGRI)

A fim de estimar precipitação através de satélite, foram adotados critérios semelhantes aos da técnica CST descrita por ADLER e NEGRI (1988) para estimar precipitação através de satélite. Entretanto, dada a natureza dos dados disponíveis, recorreu-se a uma adaptação desta a fim de tornar possível a comparação entre valores estimados e observados. Optou-se por avaliar apenas a precipitação de origem convectiva desde que esta é predominante na região durante a época estudada. A técnica de ADLER e NEGRI, adaptada para imagens METEOSAT-4, consiste basicamente de três etapas:

Etapa 1: Deteção de Candidatos a Núcleos Convectivos

Com base na temperatura de brilho mínima local (T_{\min}), pixels mais frios do que sua vizinhança e com temperatura inferior a 253 K são considerados candidatos a núcleos convectivos.

Etapa 2: Filtragem de Cirrus

Núcleos precipitantes são separados dos não-precipitantes pela comparação de dois parâmetros. Define-se um "parâmetro de inclinação" ("slope"), calculado com base na expressão

$$S = \bar{T}_{1-4} - T_{\min} \quad (3.1)$$

onde \bar{T}_{1-4} é a temperatura média dos 4 pixels mais próximos, ou seja, se T_{\min} está localizado na posição (i,j) , i =coluna, j =linha, então

$$\bar{T}_{1-4} = \frac{T_{i-1,j} + T_{i+1,j} + T_{i,j+1} + T_{i,j-1}}{4}. \quad (3.2)$$

Na verdade, a expressão (3.1) representa o laplaciano da temperatura de brilho, onde elementos de distância x , y são considerados unitários. Deve-se observar que, devido ao ângulo de visada, os elementos x seriam afetados de um fator 1,4 para a região em estudo. Todavia, optou-se por não introduzir esta correção geométrica desde que os valores de S encontrados não tiveram desvios importantes em relação à estimativa corrigida.

Por outro lado, Adler e Negri propõem uma função discriminante S_r (obtida com base em dados de radar meteorológico e de canal visível de satélite), definida como

$$S_r = 0,568 (T_{\min} - 217). \quad (3.3)$$

Se $S > S_r$, então T_{\min} estaria associado a um centro convectivo; caso contrário, ter-se-ia a presença de cirrus. Uma vez que S está associado ao laplaciano, grandes valores deste estão associados à maior concavidade da função $T(x,y)$, onde x =longitude, y =latitude, e revelariam regiões de acentuada convecção.

Etapa 3: Determinação da Taxa de Precipitação

Uma vez detectado um centro convectivo, a estimativa de precipitação é feita através de uma função linear empírica que relaciona T_{\min} com a taxa de precipitação média (P_{med}) associada a uma área. As relações originais do método foram deduzidas por ajuste com um modelo de nuvem unidimensional, de forma que

$$P_{med} = 74,89 - 0,266 T_C, \quad (3.4)$$

$$Area = \exp (15,27 - 0,0465 T_C).$$

A área é expressa em Km²; T_C representa uma correção linear empírica de T_{min} (visando resolver as diferenças de escala espacial do modelo e do satélite), dada por:

$$(T_{min} - T_C) = 0,283 T_{min} - 56,6. \quad (3.5)$$

Das equações (3.4) e (3.5), a estimativa de P_{med} resulta

$$P_{med} = 59,83 - 0,19 T_{min}. \quad (3.6)$$

A área associada à precipitação e a estimativa da precipitação de origem estratiforme, previstas no modelo original, não são analisadas no que segue.

3.1 - Métodos de Cálculo

Uma vez que os coeficientes das equações (3.3) e (3.6) foram ajustados para uma região específica (Sul da Flórida) com características de nuvens possivelmente diferentes das deste estudo, faz-se necessário avaliar ou mesmo ajustar estes coeficientes para as condições regionais. Entretanto a falta de uma rede densa de pluviógrafos ou de radar meteorológico, dispendo-se apenas de uma rede pluviométrica, faz surgir duas questões:

- Como analisar a qualidade de estimativas horárias dispendo-se única e exclusivamente de totais diários de precipitação?

- Como comparar valores medidos pontualmente com estimativas que correspondem a uma área?

Partiu-se da base seguinte: 1) a técnica consiste na determinação de núcleos convectivos a partir da temperatura de brilho mínima local, que se relaciona linearmente com a taxa de precipitação média; 2) para ocorrer precipitação sobre um posto pluviométrico, necessariamente ele tem que estar sob a influência de um sistema "causador" de precipitação. Assim, foram definidos os critérios que seguem:

a) Determinação de Núcleos Convectivos

Testar as etapas (1) e (2) para pixels correspondentes a cada um dos postos pluviométricos. Se satisfeitas, considerar estes pixels como núcleos convectivos.

b) Ajuste de uma Relação entre Precipitação e Temperatura

Avaliar uma relação linear entre precipitação e temperatura de brilho mínima local, na forma:

$$P_{est} = a + b T_{min}. \quad (3.7)$$

Suposto que os coeficientes a e b são constantes para todos os horários das imagens, o total diário seria

$$\sum_i P_{est(i)} = f a + b \sum_i T_{min(i)}, \quad (3.8)$$

onde $P_{est(i)}$ representa a taxa de precipitação estimada no i-ésimo horário; f é a frequência de imagens com ocorrência de precipitação e $T_{min(i)}$ é a temperatura de brilho mínima local correspondente ao posto em questão, no i-ésimo horário. Considerando que

$$P_{obs} \equiv \sum_i P_{est(i)},$$

a equação (3.8) define uma relação entre precipitação e temperatura de brilho da forma

$$\frac{P_{\text{obs}}}{f} = a + b \bar{T}_{\text{min}}, \quad (3.9)$$

onde (P_{obs}/f) representa uma "precipitação média" dos horários com ocorrência de precipitação e \bar{T}_{min} representa a temperatura média desses horários. Portanto a avaliação do ajuste seria feita através da expressão (3.9), obtendo-se os coeficientes a e b por meio de regressão linear.

As equações (3.4) e (3.6) expressam uma relação linear entre precipitação e temperatura de brilho, com a correção empírica de T_{min} obtida para o satélite meteorológico GOES. Neste estudo optou-se pela utilização direta de T_{min} para obtenção de uma relação empírica entre P_{obs} e T_{min} (equivalente à da eq. 3.6).

3.2 - Resultados e Discussões

Nos resultados encontrados através da expressão (3.9), com exceção do dia 30 de janeiro de 1992, os demais apresentaram frequência de ocorrência de precipitação igual a 1, ou seja, segundo os critérios definidos pelo modelo a precipitação teria ocorrido em apenas 1 horário. Todos os valores de T_{min} associados aos postos pluviométricos foram inferiores a 240 K, sugerindo que o critério de filtragem de cirrus com base na reta de discriminação dada pela eq. 3.3 não é apropriado para a região em estudo, fazendo com que núcleos convectivos mais quentes que os definidos no modelo original sejam eliminados da análise. A ocorrência de uma frequência f pequena também sugere esta possibilidade. Todavia, dada a impossibilidade de ajuste dos coeficientes da função discriminante de cirrus, uma vez que foram determinados com base em radar e canal visível de satélite, avaliou-se o ajuste dos

coeficientes da função de estimativa de precipitação para casos em que a precipitação diária teria ocorrido em apenas um único horário.

As figuras 3.1 mostram os resultados da regressão linear obtida entre precipitação diária observada sobre o posto pluviométrico e temperatura de brilho mínima local associada a este para os 4 dias estudados. Observa-se que o coeficiente de correlação obtido foi muito baixo ($r < 0,30$) em todos os casos. Da inspeção visual dos gráficos, não ficam evidenciadas relações funcionais entre precipitação e temperatura mínima. Eventualmente, observa-se que a temperatura de brilho tende a concentrar-se em torno de 220 K, com grande variabilidade de P_{obs} .

Várias razões podem ser apontadas para estas discrepâncias. Por exemplo,

- 1) T_{min} poderia associar-se a precipitação que não caiu exatamente sobre o posto pluviométrico, mas sim a uma certa distância dele. Portanto, a precipitação observada no posto estaria associada a outro pixel.
- 2) T_{min} poderia não indicar o núcleo do complexo convectivo, mas tão somente um ponto de mínimo relativo de temperatura.
- 3) A precipitação poderia ter ocorrido também em horários intermediários, não sendo detectada por imagens horárias instantâneas.
- 4) Finalmente, o próprio critério de filtragem de cirrus utilizando-se do laplaciano de T_b (ou de sua imagem, a função S) e do critério de discriminação da equação 3.3, podem não ser adequados para a região em estudo.

O resultado principal desta análise evidencia a dificuldade de comparar valores pontuais de precipitação e temperatura

de brilho, como critério de validação de uma relação entre ambos (mesmo empírica). Por essa razão, decidiu-se não pesquisar a possibilidade de usar um método de interpolação regional do campo de precipitação (baseado na rede pluviométrica), para fins de comparação com o conjunto completo de núcleos convectivos potenciais sugeridos pelo método de Adler e Negri. Resultados apresentados por MORAES (1992) também sugerem que os valores acumulados diários apresentam bastante dispersão com relação à verdade terrestre. ALBERGA et al. (1991), conforme mencionado na introdução, encontraram razoável concordância qualitativa entre áreas de precipitação; entretanto o método não garante uma boa relação quantitativa e desta forma resultados qualitativos não são apresentados neste trabalho. Ainda, na falta de um critério de discriminação objetivo para separar cirrus de complexos convectivos, optou-se por reformular o método de análise. O capítulo 4 descreve os critérios utilizados e os resultados obtidos.

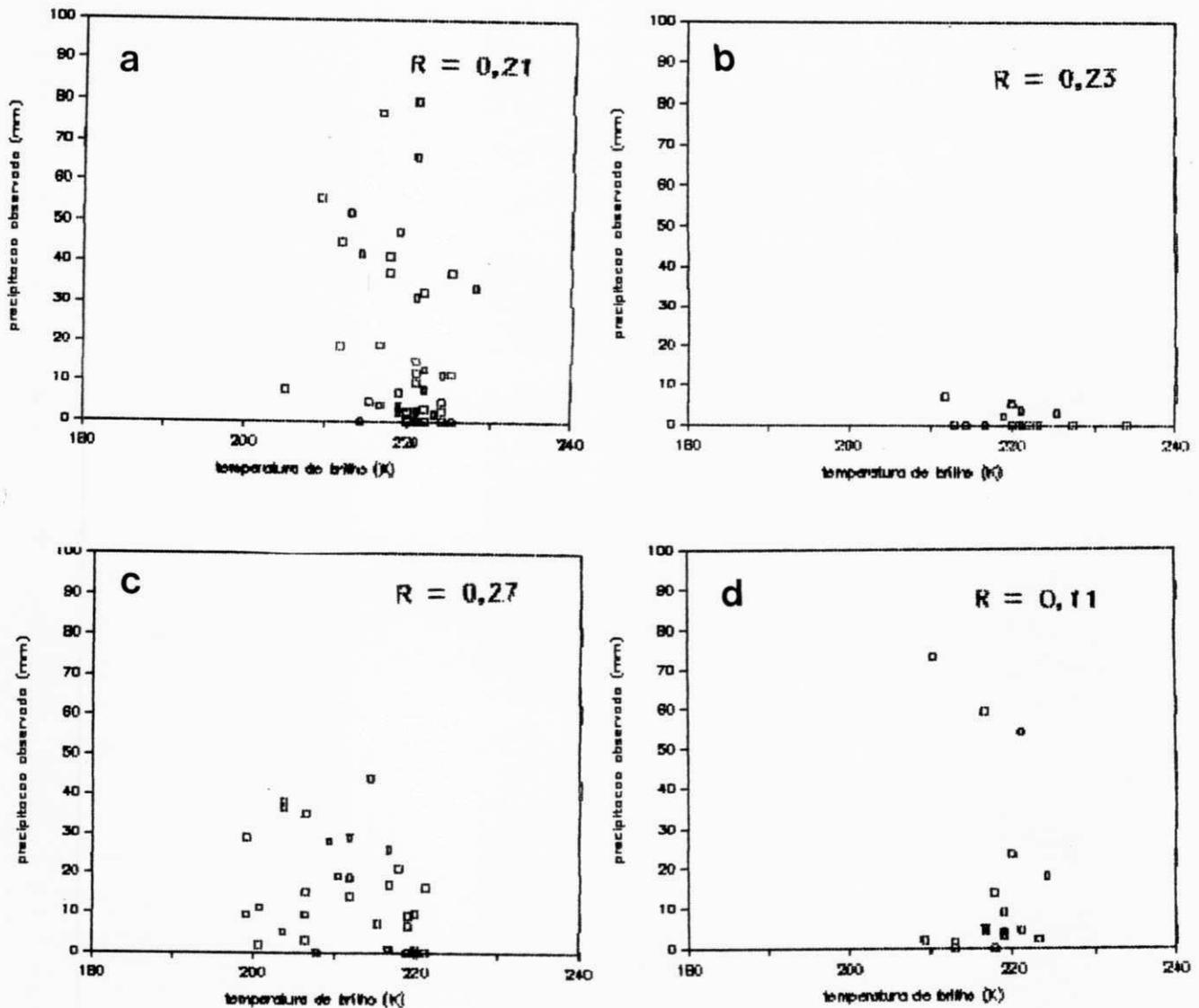


Figura 3.1 - Regressão linear obtida entre precipitação observada no posto pluviométrico e temperatura de brilho mínima local, situação de precipitação ocorrida em apenas 1 horário:

- a) Dia 17 de março de 1991;
- b) Dia 20 de março de 1991;
- c) Dia 29 de janeiro de 1992;
- d) Dia 30 de janeiro de 1992.

Capítulo 4

TESTES DE UM METODO ALTERNATIVO

Dadas as dificuldades encontradas para ajustar os coeficientes das funções propostas por Adler e Negri, estudou-se um método alternativo que contemplasse as características dos dados disponíveis, limitados a:

- 1- Total diário de precipitação medido em 200 locais do Ceará;
- 2- Imagens horárias do canal IV do METEOSAT-4.

A filtragem de cirrus com base em dados de um único canal de satélite mostra-se difícil. Por exemplo, LIOU et al. (1990) utilizaram dados de radiômetro com campo de visao estreito em bandas de 6,5 μm e 10,5 μm (projeto STEP sobre Darwin, Austrália). Eles desenvolveram um método para detectar emissividade, temperatura e espessura óptica de cirrus, encontrando temperaturas entre 195 e 235 K e emissividades superiores a 0,6 (o que implica em influência marcante no campo de temperatura obtido mediante um único canal). PRABHAKARA et al. (1990) avaliaram o espectro de fluxos e a temperatura de brilho que deveria ser observada na presença de cirrus; para temperaturas da superfície do mar de 300 K sobre a região da ZCIT, concluíram que nuvens tênues produzem uma temperatura de brilho de 270 K na faixa espectral do canal IV do METEOSAT-4; por outro lado, na presença de uma camada subjacente de nuvens, a temperatura de brilho pode ser da ordem de 240 K. Na ausência de nuvens, a temperatura de brilho cai tao somente de 5 K com relação à temperatura da superfície do mar. Os resultados

descritos indicam que a filtragem de cirrus mediante dados de um único canal de satélite pode ser difícil, e justificam a análise conjunta de temperatura de brilho e textura de imagem para separar núcleos prováveis de precipitação (tal como proposto no método de Adler e Negri). Todavia, deve-se observar que não asseguram que, efetivamente, sejam precipitantes (ARNAUD et al., 1992; SAKAMOTO, 1990).

Para uma eventual calibração regional de brilhos, é inevitável a comparação com dados de verdade terrestre. Entretanto, um conjunto de imagens sucessivas apresenta vários problemas associados, tais como:

- 1- Núcleos convectivos podem provocar uma distribuição de chuva que não precipita sobre postos pluviométricos vizinhos a esses núcleos;
- 2- Um pixel que inclui um posto pluviométrico e considerado precipitante pode estar, na realidade, parcialmente coberto, ou conter células convectivas que não coincidem com o posto;
- 3- Uma imagem representa o estado instantâneo do sistema de nuvens;
- 4- Um núcleo apresenta, espacialmente, diferentes temperaturas de brilho. Ao longo de uma hora, um local pode ter recebido precipitação de vários dos estágios do sistema (devido ao deslocamento e evolução deste).

Estas dificuldades sugerem que a estimativa da precipitação associada a períodos de uma hora se realize com base na análise de áreas de brilho, antes do que limitada a pixels em cima de postos pluviométricos.

A limitação temporal introduzida por dados de precipitação diários também recomenda a análise da distribuição regional

de chuva. Na medida em que seja estudada a evolução diária da temperatura de brilho sobre uma área limitada, o total diário de chuva sobre essa área deveria ser estimado. Nesse caso, métodos de interpolação adequados devem se aplicados para estimar a distribuição regional de precipitação.

4.1 - Métodos de Cálculo

De acordo com a discussão precedente, vários aspectos analíticos devem ser estabelecidos, conduzentes a: a) identificar regiões (alvos) com provável precipitação; b) avaliar precipitação diária sobre um alvo; c) comparar de forma adequada as duas informações obtidas. A seguir, são descritos os critérios adotados.

4.1.1 - Discriminação de Núcleos com Precipitação Provável

Dadas as coordenadas i (coluna) e j (linha) para o campo de temperatura de brilho $T_b(i,j)$, o gradiente e o laplaciano são avaliados segundo

$$\nabla T_b(i,j) = \left[\frac{T_{i+1,j} - T_{i-1,j}}{2} \right] \vec{i} + \left[\frac{T_{i,j+1} - T_{i,j-1}}{2} \right] \vec{j}, \quad (4.1)$$

$$\nabla^2 T_b(i,j) = T_{i+1,j} + T_{i-1,j} + T_{i,j+1} + T_{i,j-1} - 4 T_{i,j}. \quad (4.2)$$

medidos em unidades $K/u.d.p.$, $K/(u.d.p.^2)$, $u.d.p.$ = unidade de distância entre pixels . A eq. (4.2) evidencia que o laplaciano é quatro vezes superior ao "slope" definido nas eqs. (3.1) e (3.2); portanto, este último está associado à curvatura da super-

ficie $T_b(i,j)$. Para locais (i,j) com gradiente de T_b nulo, valores positivos do laplaciano indicam um mínimo de T_b e permitem - em princípio - identificar núcleos convectivos.

A distribuição de frequência de pares $(T_b, \nabla^2 T_b)$, sujeitos à condição $|\nabla T_b| \neq 0$, pode ser analisada para fins de discriminação de núcleos precipitantes.

Considerando a possibilidade de que flutuações de $T_b(i,j)$ introduzam ruído antes do que informação numa dada imagem, antes de avaliar T_b , $\nabla^2 T_b$ pode ser aplicado um procedimento de suavização. "Médias móveis espaciais" de ordens 3 e 5 são definidas segundo

$$MM_3(i,j) = \frac{1}{9} \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} T_b(k,l) \quad (4.3)$$

$$MM_5(i,j) = \frac{1}{25} \sum_{k=i-2}^{i+2} \sum_{l=j-2}^{j+2} T_b(k,l), \quad (4.4)$$

Deve-se observar que tal discriminação tende a identificar locais com precipitação associada à convecção. Campos homogêneos de nuvens cobrindo dada região poderiam associar-se à chuva estratiforme.

4.1.2 - Distribuição da Precipitação

Desde que a rede pluviométrica apresentava densidade relativamente elevada de totais pluviométricos diários, decidiu-se aplicar dois processos de interpolação.

Método 1. KOBAYASHI (1991) utilizou uma técnica de análise objetiva baseada no método proposto por Barnes em 1964, aplicada à distribuição de precipitação mensal no Ceará. O método de Barnes permite ajustar seus parâmetros, gerando um filtro (função de

ponderação na interpolação) apropriado para as distâncias típicas entre postos. O resultado obtido foi altamente eficiente; decidiu-se adotá-lo para gerar uma grade de totais diários de precipitação.

Método 2. Considerando a relativa complexidade do método 1, adotou-se um software de fácil manuseio para gerar valores em pontos de grade, a partir dos dados da rede pluviométrica. A função de ponderação escolhida foi a de potência inversa, com expoente 2. A distância entre pontos de grade corresponderiam a aproximadamente dois pixels de imagem (isto é, 10 Km).

4.1.3 - Relação entre Imagens METEOSAT-4 (IV) e Precipitação Diária

A partir da análise de textura, foram selecionados prováveis núcleos precipitantes. Não sendo possível uma comparação direta entre informação horária de um pixel e o total diário de precipitação nesse local, foram seguidas duas ações complementares:

- a- Considerar precipitação diária e informação sobre núcleos precipitantes em alvos com área de 5X5 pontos de grade;
- b- Procurar acumular a informação fornecida pelo conjunto de imagens durante um dia, para fins de comparação com totais diários de precipitação num alvo dado.

Os critérios de acumulação diária de informação de imagens e a comparação com o campo de precipitação são descritos na discussão dos resultados.

4.2- Discussão dos Resultados

As figuras 4.1 e 4.2 ilustram os efeitos provocados pelas médias móveis MM_3 e MM_5 sobre a distribuição de T_b , ∇T_b e $\nabla^2 T_b$; ao longo de uma linha de imagem. Observa-se que o efeito de suavização mantém as características básicas dos perfis originais; em particular, fica garantida a localização de mínimos de T_b através das condições $|\nabla T_b| = 0$ e $\nabla^2 T_b > 0$. As figuras 4.3 mostram o efeito qualitativo das suavizações sobre a imagem (a área sombreada indica regiões com $T_b < 253$ K). Nota-se que a suavização mantém as características da imagem, gerando apenas a filtragem de pequenos sistemas.

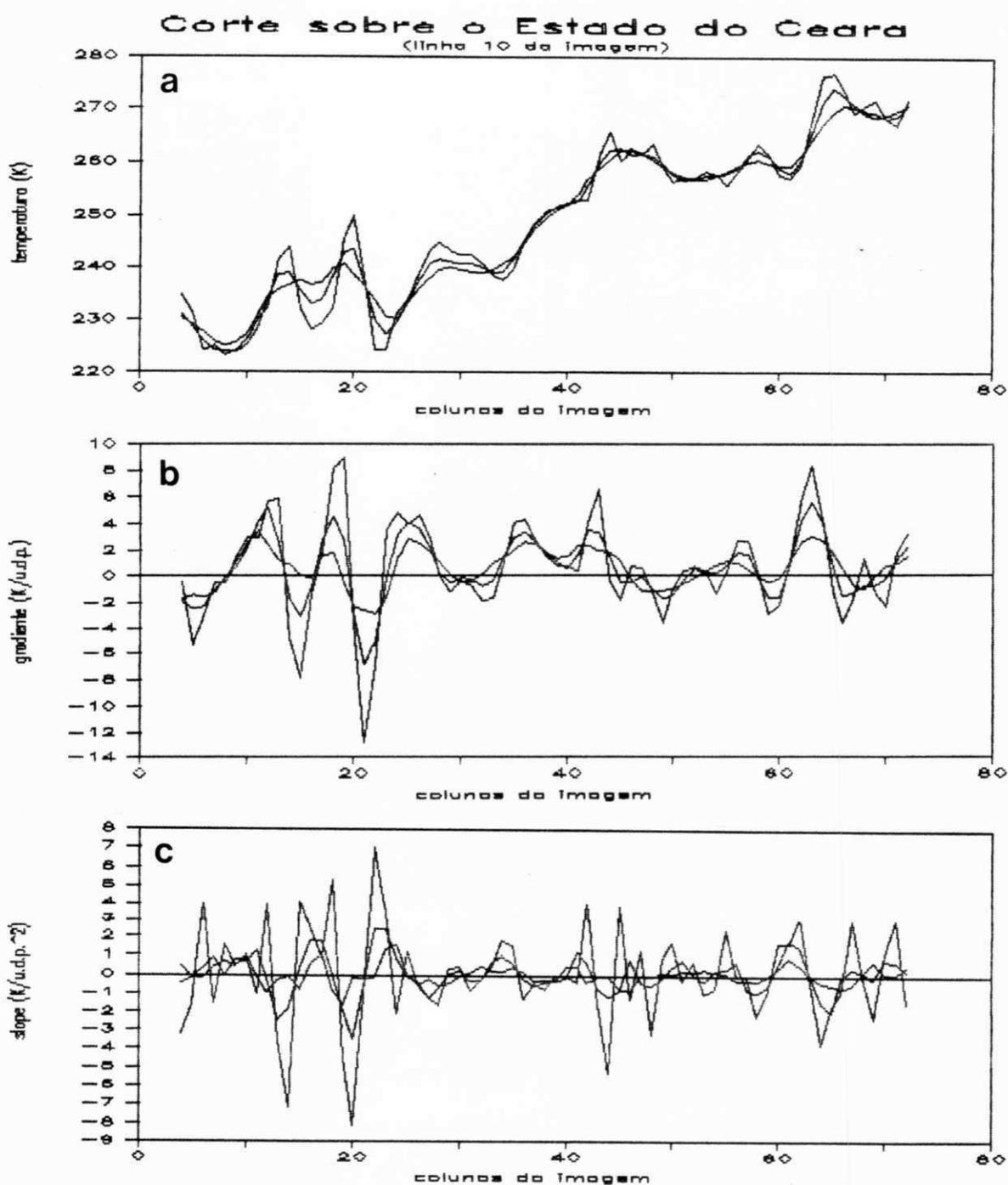


Figura 4.1 - Efeitos da suavização causada por "médias móveis espaciais" de ordens 3 e 5 segundo um corte efetuado na linha 10 da imagem das 12 horas do dia 16 de março de 1991:
 a) temperatura de brilho (T_b);
 b) gradiente de T_b ;
 c) slope de T_b .

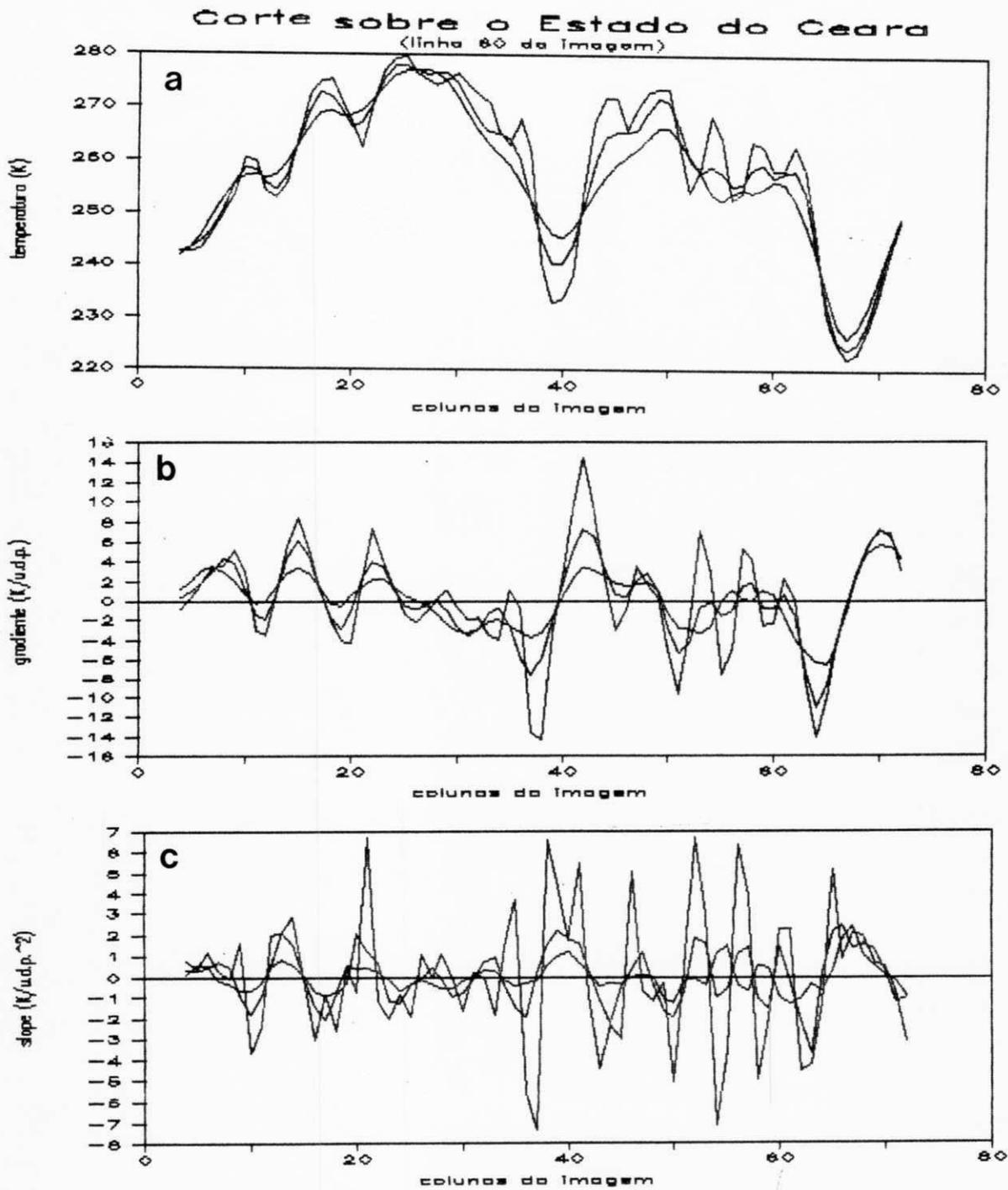


Figura 4.2 - Efeitos da suavização causada por "médias móveis espaciais" de ordens 3 e 5 segundo um corte efetuado na linha 60 da imagem das 12 horas do dia 16 de março de 1991:
a) temperatura de brilho (T_b);
b) gradiente de T_b ;
c) slope de T_b .

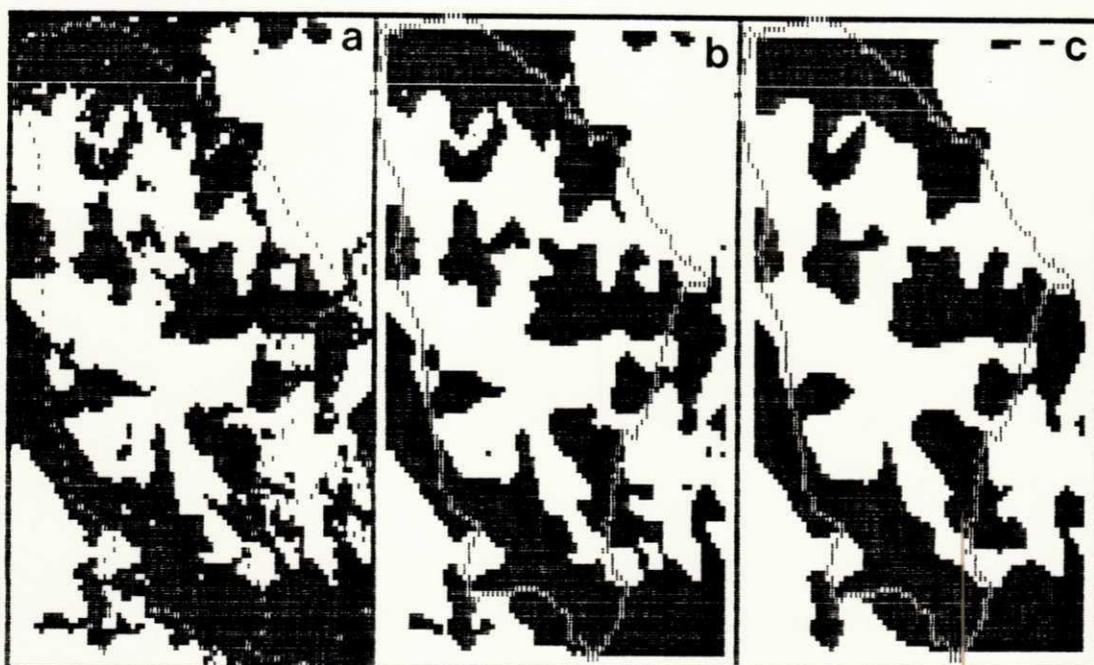


Figura 4.3 - Avaliação dos efeitos qualitativos de suavizações:

- a) imagem de temperatura das 12 horas do dia 16 de março de 1991;
- b) suavização provocada por uma "média móvel espacial" de ordem 3;
- c) suavização provocada por uma "média móvel espacial" de ordem 5.

4.2.1 - Discriminação de Núcleos com Precipitação Provável

Feita a amostragem de núcleos com mínimo de T_b , uma distribuição bivariada de frequência foi feita com relação a T_b , $\nabla^2 T_b$, tomando-se intervalos de classe de 10 K para a temperatura e de 0,2 K/u.d.p² para o slope (tabela 4.1). Foram escolhidas apenas 10 classes de slope visto que os valores típicos encontrados foram muito baixos (não ultrapassando 4 K/u.d.p²). Valores superiores a 2 K/u.d.p² foram em número reduzidíssimo sendo excluídas as classes que os continham a fim de permitir uma melhor representação gráfica.

Tabela 4.1 - Classes de temperatura X slope

Classe	Temperatura (K)	Slope (K/u.d.p ²)
1	180 - 190	0 - 0,2
2	190 - 200	0,2 - 0,4
3	200 - 210	0,4 - 0,6
4	210 - 220	0,6 - 0,8
5	220 - 230	0,8 - 1,0
6	230 - 240	1,0 - 1,2
7	240 - 250	1,2 - 1,4
8	250 - 260	1,4 - 1,6
9	260 - 270	1,6 - 1,8
10	270 - 280	1,8 - 2,0
11	280 - 290	
12	290 - 300	
13	300 - 310	
14	310 - 320	
15	320 - 330	

a) Dia 16-17 de março de 1991

As figuras 4.4a e 4.4b apresentam a distribuição bivariada de frequência para MM_3 e MM_5 , respectivamente. Conforme se observa em ambos os casos o pico encontra-se entre as classes de temperatura 7-9 e de slope 1-2 que correspondem a uma faixa de 240-270 K e 0-0,4 K/u.d.p². Percebe-se que ocorreu uma pequena variação na frequência de uma "média móvel espacial" para outra, sugerindo que uma MM_5 permite uma melhor definição das classes provavelmente relacionada com o fato que esta abrange uma área maior. Este dia foi caracterizado como nublado com precipitação moderada; o pico encontra-se numa faixa intermediária do espectro.

b) Dia 19-20 de março de 1991

As distribuições obtidas para este dia estão representadas nas figuras 4.5. O pico encontra-se entre as classes de temperatura 11-12 e de slope 1-2, correspondentes a 280-300 K e 0-0,4 K/u.d.p². Aqui percebe-se uma concentração superior a 80% nestas classes o que sem dúvida evidencia a característica do dia: pouca nebulosidade sobre o Estado durante a maior parte do período analisado, com precipitação escassa.

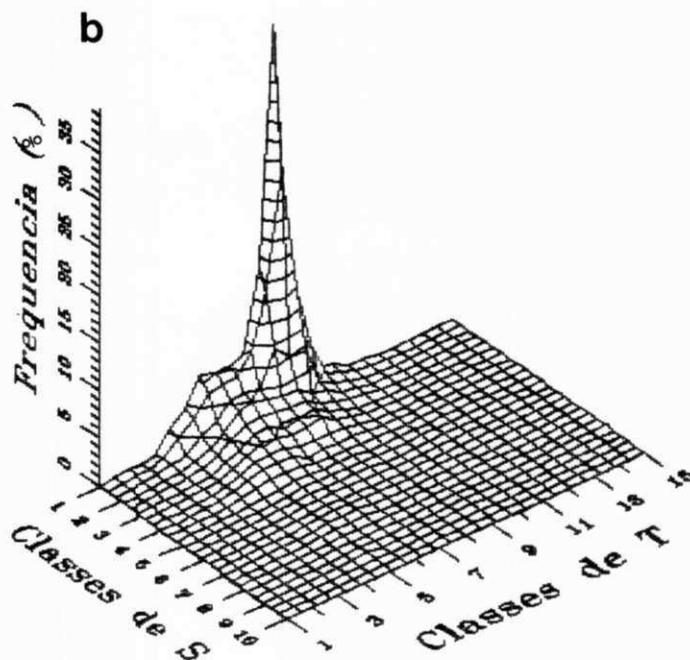
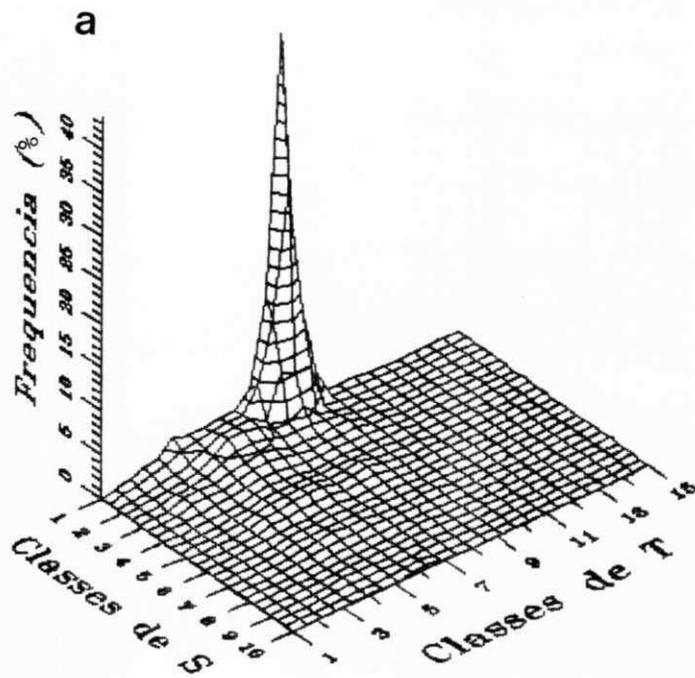


Figura 4.4 - a) Histograma bidimensional para o dia 16-17 de março de 1991 dado por uma MM_3 ;
 b) Histograma bidimensional para o mesmo dia dado por uma MM_5 .

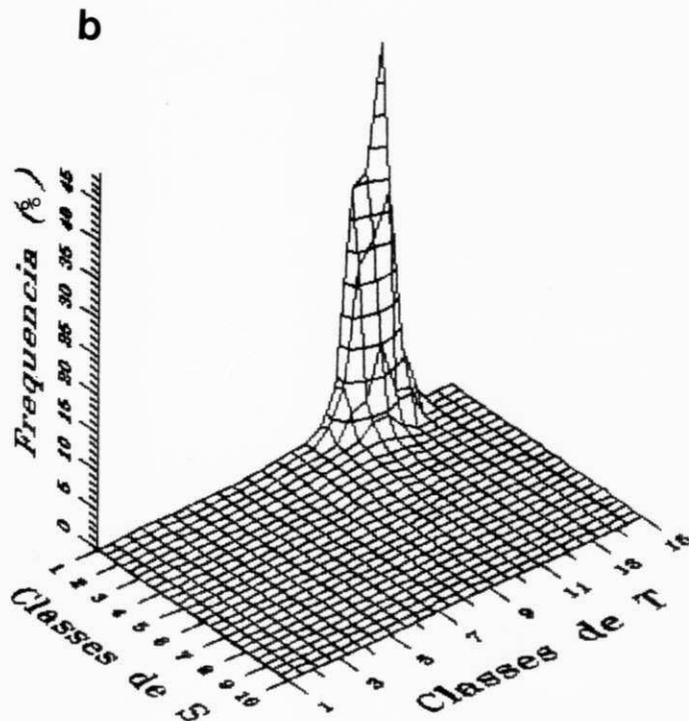
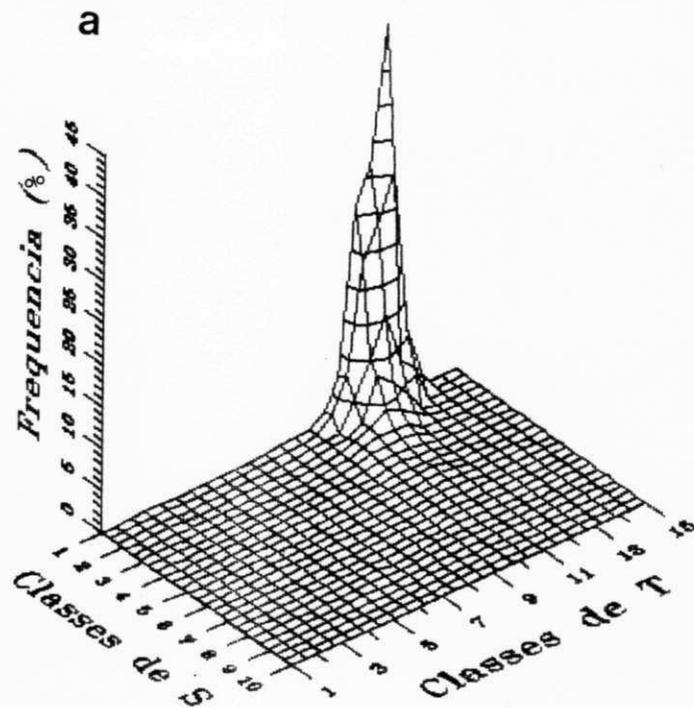


Figura 4.5 - a) Histograma bidimensional para o dia 19-20 de março de 1991 dado por uma MM_3 ;
 b) Histograma bidimensional para o mesmo dia dado por uma MM_5 .

c) Dia 28-29 de janeiro de 1992

As figuras 4.6 exibem cada uma dois picos para este dia. Um deles está delimitado pelas classes de temperatura 3-4 e o outro pelas classes 8-9, correspondendo a temperaturas na faixa de 200-220 K e 250-270 K, respectivamente e entre as classes 1-2 para o slope. De acordo com a característica deste dia, o primeiro pico parece estar relacionado com precipitação mais intensa. A figura 4.6.b evidencia um aumento na frequência; também sugere que uma MM_5 permite uma melhor definição das classes.

d) Dia 29-30 de janeiro de 1992

Como já era esperado, a distribuição de frequência tem comportamento similar ao dia anterior, havendo um alargamento da faixa de temperatura correspondente ao primeiro pico, compreendido entre as classes 3-6, 200-240 K (Figuras 4.7).

Na tabela 4.2 está mostrado o resumo dos resultados encontrados. Observa-se que as classes de temperatura permitem uma melhor definição de situações entre os extremos de "céu limpo" e precipitação forte. O slope não apresenta características que permitam uma distinção entre as classes, porém auxilia na detecção de mínimos de temperatura.

Com base nos resultados encontrados optou-se pelo uso de imagens suavizadas por uma MM_5 , uma vez que esta se apresenta bastante eficiente na filtragem de pequenos sistemas (veja figuras 4.3) que poderiam introduzir bastante "ruído" na informação e ajudam a obter uma melhor definição das classes, conforme indicam as figuras 4.6 e 4.7.

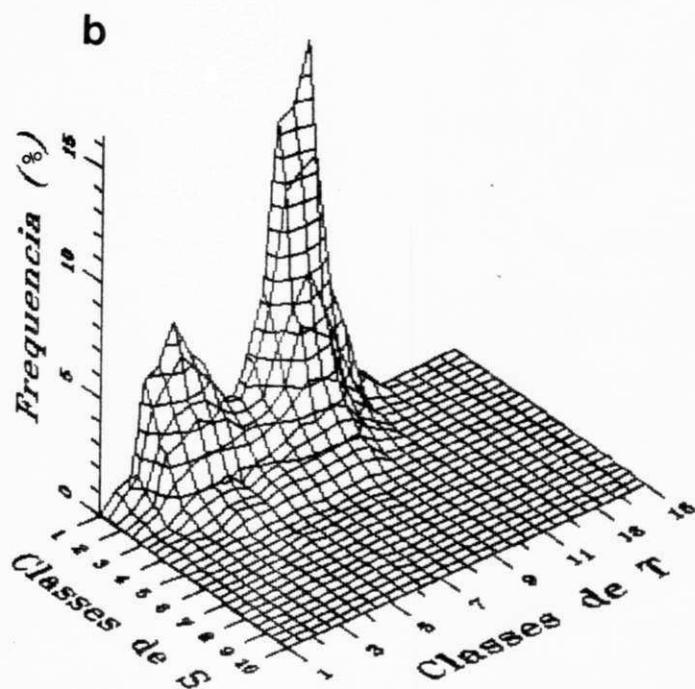
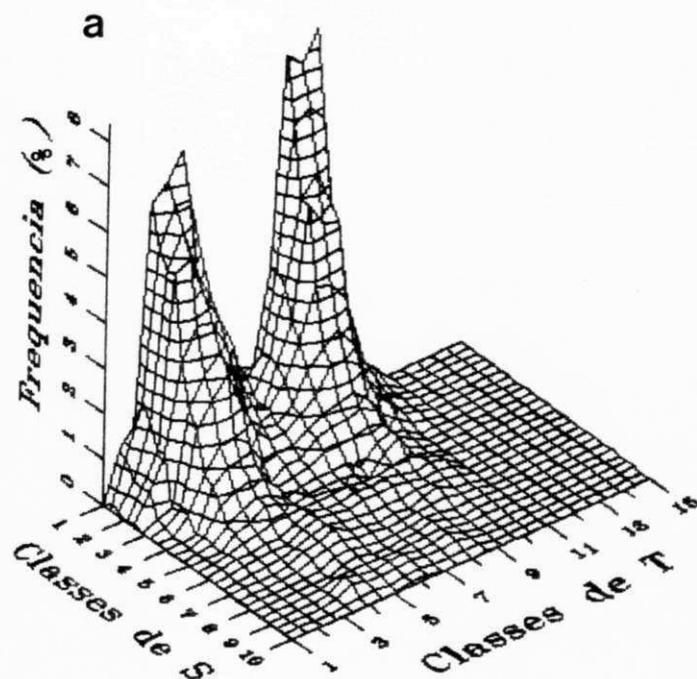


Figura 4.6 - a) Histograma bidimensional para o dia 28-29 de janeiro de 1992 dado por uma MM_3 ;
 b) Histograma bidimensional para o mesmo dia dado por uma MM_5 .

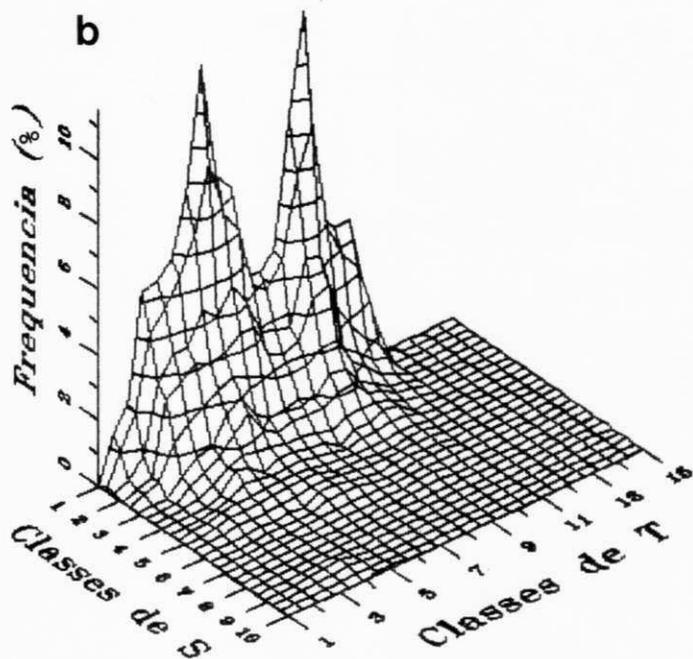
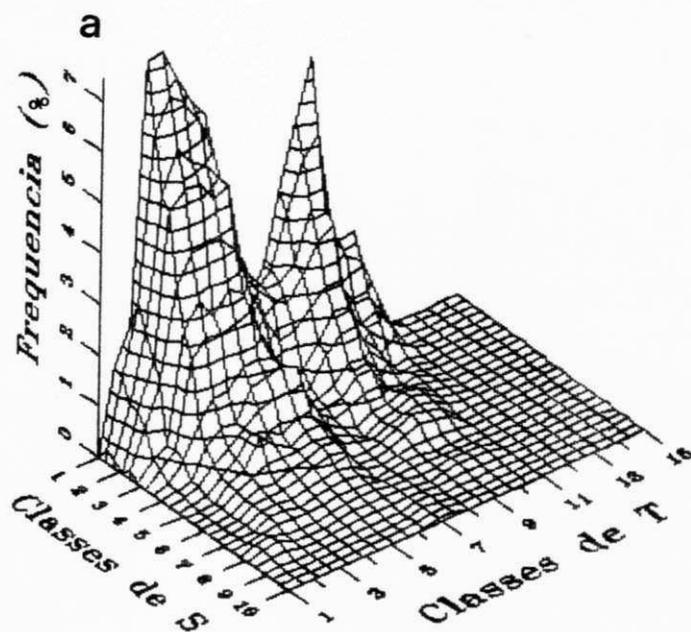


Figura 4.7 - a) Histograma bidimensional para o dia 29-30 de janeiro de 1992 dado por uma MM_3 ;
 b) Histograma bidimensional para o mesmo dia dado por uma MM_5 .

Tabela 4.2 - Resumo das principais classes

Classe de T	Classe de S	Característica
1-6	1-2	precipitação forte
7-9	1-2	precipitação moderada, fraca ou nula
>10	1-2	nuvens não-precipitantes, céu limpo

4.2.2 - Campos Interpolados: Precipitação Diária e Temperatura

A análise dos campos de precipitação obtidos segundo os critérios definidos por Kobayashi foi feita suprimindo a informação de precipitação observada no posto pluviométrico, atribuindo-lhe o valor interpolado objetivamente (figuras 4.8). A análise de tais figuras evidencia resultados muito bons, com um coeficiente de correlação superior a 0,96 para os 4 dias estudados. Também foi analisado o desvio padrão para cada dia. Os valores obtidos foram 2,88 (dia 17), 0,977 (dia 20), 4,107 (dia 29) e 3,898 (dia 30). Os maiores erros encontrados provavelmente estão relacionados com a topografia da região (resultados obtidos por Kobayashi também sugerem esta hipótese). Os parâmetros do SURFER foram ajustados de forma a aproximarem-se dos campos obtidos pelo método 1, resultando numa grade de 6° de latitude X 5° de longitude com pontos de grade espaçados de $0,1^{\circ}$. A comparação entre os campos de precipitação resultantes dos 2 métodos podem ser vistos nas figuras 4.9 (representados apenas os campos obtidos para o dia 30 de janeiro de 1992 pois os demais apresentaram resultados semelhantes). Nota-se que existe uma boa consistência entre eles e dadas as facilidades apresentadas pelo SURFER optou-se pelo uso de campos gerados por ele.

Uma vez que os pontos de grade estavam espaçados de $0,1^{\circ}$ (aproximadamente 2 pixels), os campos de temperatura foram gerados pelo SURFER escolhendo-se pixels que correspondiam aproxima-

damente a este espaçamento. A representação gráfica dos campos de temperatura e precipitação diária encontra-se nas figuras do capítulo 2 deste estudo.

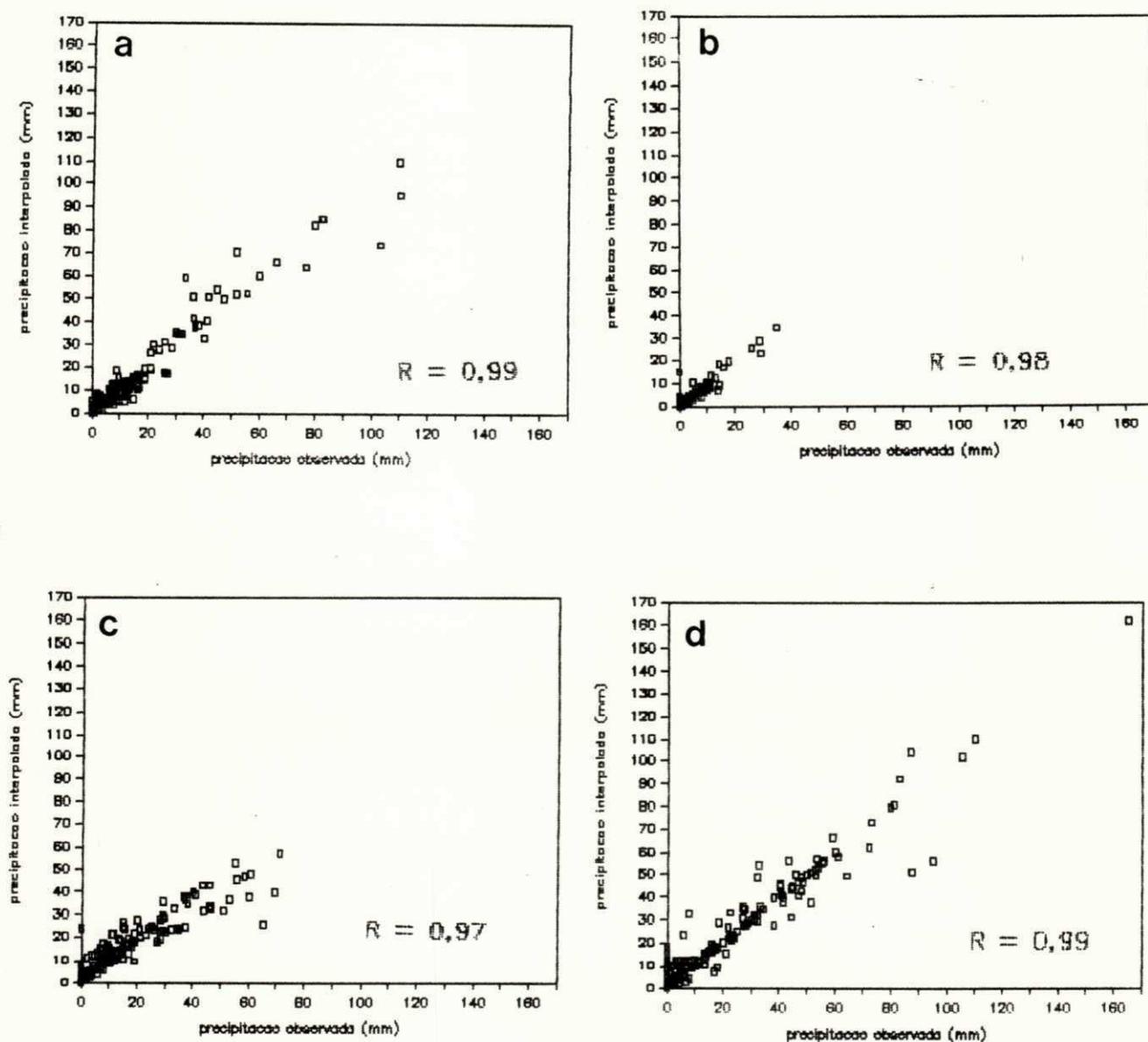


Figura 4.8 - Regressão linear obtida entre precipitação observada no posto pluviométrico e precipitação interpolada no posto para:

- a) dia 17 de março de 1991;
- b) dia 20 de março de 1991;
- c) dia 29 de janeiro de 1992;
- d) dia 30 de janeiro de 1992.

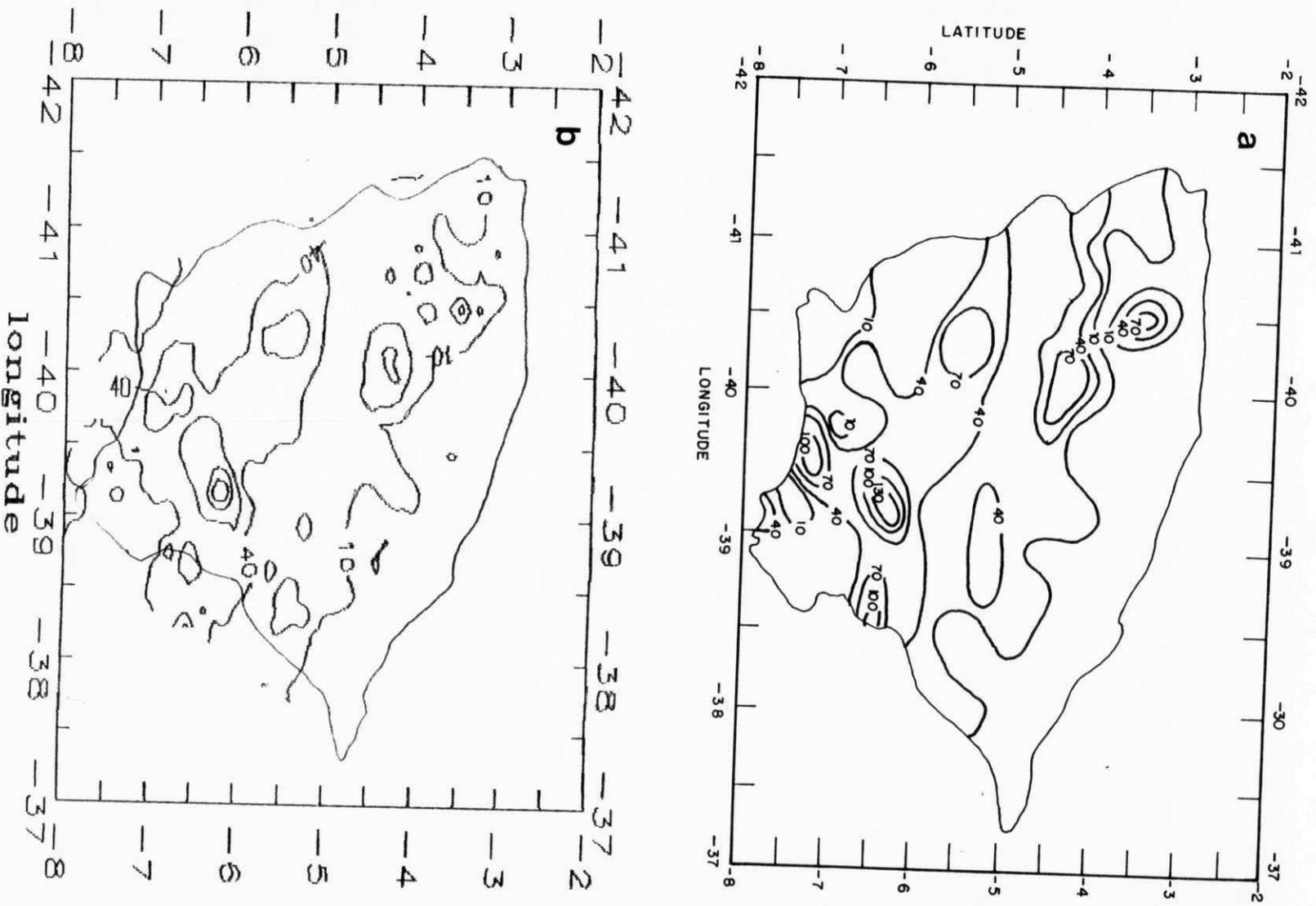


Figura 4.9 - Comparação entre campos de precipitação para o dia 30 de janeiro de 1992, gerados pelo:
 a) Método 1;
 b) Método 2.

4.2.3 - Avaliação da Precipitação Baseada em Imagens

Os resultados expostos no capítulo 3 evidenciam que relações funcionais $P=f(T)$, onde T é um valor de temperatura associado a um núcleo, não são suficientes para estimativas acuradas de precipitação. Ainda, determinações pontuais (baseadas num único pixel) podem não ser representativas de áreas com precipitação ou mesmo de valores pontuais de verdade terrestre. Optou-se por definir alvos (áreas com vários pontos de grade como referência para comparar precipitação e brilho de imagens).

A textura das imagens (discutida na seção 4.2.1) sugere discriminar os pontos de grade de um alvo em três categorias: 1) não-chuvoso (NC); 2) com precipitação fraca (PF); 3) com precipitação intensa (PI). Em termos gerais, as temperaturas de 270 K e 240 K parecem ser os limiares para definir três intervalos adequados. De posse de 25 dados em cada alvo, para cada hora com imagem, foi escolhido o critério seguinte:

- 1) Escolheu-se para análise um alvo com $P > 0$. A precipitação de um alvo define-se como a média dos valores de pontos de grade para esse dia.
- 2) Para cada hora, o alvo é considerado PF ou PI se mais de 15 pontos de grade estão alocados numa dessas duas classes. Se não, é descartado.
- 3) Definido como PF ou PI, é avaliada a temperatura média dos pontos de grade dessa classe (respectivamente, T_1 se PI, e T_2 se PF).
- 4) É atribuído um valor $X_i=270-T_1$ ou $Y_i=270-T_2$ ao alvo, segundo seja da classe PI ou PF. Tais variáveis representam um desvio (definido como positivo) com relação a 0°C ; quanto maior seja X ou Y , espera-se "a priori" maior precipitação.

5) Para um dia dado, são avaliadas as quantidades

$$X = \sum X_i \quad e \quad Y = \sum Y_i ,$$

onde as somas são realizadas sobre os horários correspondentes.

6) Definido um trio (X,Y,P) para cada alvo onde houve precipitação ($P > 0$) durante o dia, é ajustada regressão linear múltipla do tipo

$$P = a + b X + c Y; \quad (4.5)$$

baseada no conjunto de trios detectados para esse dia.

A figura 4.10a ilustra o resultado para os dias 29 e 30 de janeiro de 1992, considerados em conjunto. Observa-se que a precipitação estimada subestima, em geral, os valores reais. Por outro lado, a dispersão de valores é muito grande e induz a erros apreciáveis de estimativa. Os coeficientes de correlação obtidos são

$$r_{PX} = 0,462 \quad r_{PY} = -0,391$$

Os sinais opostos de r_{PX} e r_{PY} sugerem que, ao considerar o conjunto de informações de um dia para um alvo, mais alvos classificados como PI tendem a produzir valores de P acima de uma média ou esperança matemática, enquanto que o efeito é oposto para alvos classificados como PF.

O resultado obtido com este modelo não é satisfatório. Assim, foram testados outros critérios de regressão (eq. 4.5) definindo X,Y diferentemente, cujo resumo é apresentado na tabela 4.3. O critério acima comentado é o Caso 1A da tabela. Incluem-se elementos das respectivas matrizes de correlação.

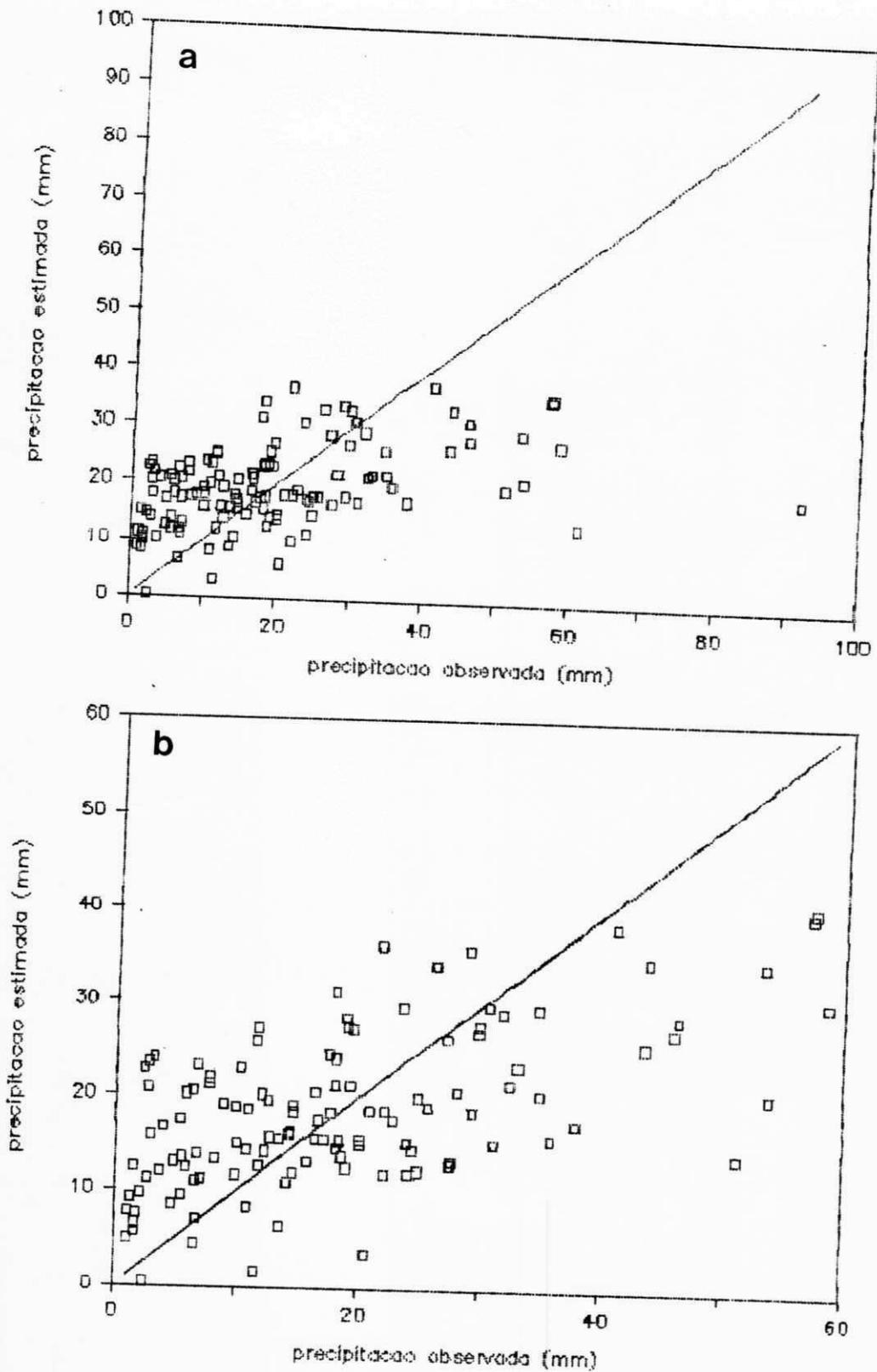


Figura 4.10 - Precipitação observada vs. precipitação estimada para os dias 29 e 30 de janeiro de 1992; a) Caso 1A; b) Caso 2B.

Tabela 4.3 - Resumo dos critérios de regressão adotados para cada caso estudado.

Regressão bivariada	$P = a + b X + c Y$
T_1	- temperatura média de pontos de grade com $T < 240K$, para um horário;
T_2	- temperatura média de pontos de grade com $240K < T < 270K$, para um horário

Caso 1A

P	- precipitação diária média no alvo
$X = \sum (270 - T_1)$	- acumulado no alvo, para horários classificados como PI
$Y = \sum (270 - T_2)$	- acumulado no alvo, para horários classificados como PF
	- Condição: mais de 15 pontos de grade são, ora PF, ora PI.

r_{PX} 0,462 r_{PY} -0,391 r_{XY} -0,747 $r_{múltiplo}$ 0,467

Caso 1B:

P	- precipitação diária média no alvo
$X = \sum (260 - T_1)$	- idem para definição anterior
$Y = \sum (260 - T_2)$	- idem para definição anterior
	- Condição: mais de 15 pontos de grade são, ora PF, ora PI.

r_{PX} 0,475 r_{PY} -0,269 r_{XY} -0,557 $r_{múltiplo}$ 0,475

Caso 2A:

P	- idem anterior
$X = \sum (240 - T_1)$	- idem para definição anterior
$Y = \sum (270 - T_2)$	- idem para definição anterior
	- Condição: idêntica aos casos 1

r_{PX} 0,505 r_{PY} -0,391 r_{XY} -0,634 $r_{múltiplo}$ 0,513

Caso 2B:

P	- idem anterior
$X = \sum (240 - T_1)$	- idem para definição anterior

Tabela 4.3 - continuação

$Y = \sum (270 - T_2)$ - idem para definição anterior
 - Condição: a) idêntica aos casos 1;
 b) eliminação dos dois alvos com maior precipitação.

r_{PX} r_{PY} r_{XY} $r_{múltiplo}$
 0,591 -0,452 -0,634 0,599

Caso 3A:

P - idem anterior
X - frequência acumulada de pontos com $T < 240K$
Y - frequência acumulada de pontos com $240K < T < 270K$
 - Condição: a) pelo menos metade do alvo possui pontos para PF e/ou PI.

r_{PX} r_{PY} r_{XY} $r_{múltiplo}$
 0,438 -0,382 -0,794 0,443

Caso 3B:

P - precipitação diária acumulada pelos pontos do alvo
X - idem caso 3A
Y - idem caso 3A
 - Condição: idêntica ao caso 3A.

r_{PX} r_{PY} r_{XY} $r_{múltiplo}$
 0,403 -0,374 -0,765 0,415

O estudo feito nos casos 3 investiga uma relação com a frequência acumulada de pontos PI ou PF, considerando que, pelo menos, metade do alvo possui um ou outro ou ambos. No caso 3A considera-se a precipitação média no alvo; a correlação obtida é muito baixa. Uma vez que a precipitação média depende do número de pontos com $P > 0$ e este número é bastante variável de um alvo para outro, decidiu-se correlacionar as frequências acumuladas com a precipitação acumulada no alvo. A tabela 4.3 evidencia que os resultados obtidos não foram melhores. Os valores de $r_{múltiplo}$ novamente aproximam-se de r_{PX} . Uma análise mais detalhada das temperaturas de brilho sugere que a precipitação observada foi

basicamente de origem convectiva com base no limiar de 240 K. O melhor resultado obtido encontra-se no caso 2B (figura 4.10b); nele foram excluídos dois alvos com precipitação muito superior à dos outros, e que não acompanham o comportamento estatístico do conjunto.

É relevante notar que:

- 1) a adoção de 260 K como limiar superior não modifica sensivelmente os resultados do Caso 1A;
- 2) os valores de $r_{\text{múltiplo}}$, próximos de r_{PX} , sugerem que T_1 poderia ser considerada a única variável relevante, e que seriam obtidos resultados substancialmente semelhantes se os alvos fossem analisados só no caso de ter a classe PI predominante;
- 3) para uma dada faixa de P os alvos não apresentam uma lei de formação, mas sim uma grande dispersão por todo o espectro de X e Y;
- 4) a grande dispersão encontrada poderia ser devido aos dados diários. Provavelmente totais semanais produziriam uma dispersão menor, fazendo com que a correlação aumentasse;

Também foram avaliadas regressões simples com base em T_1 , considerando-se diversos limiares (figura 4.11). Observa-se que:

- 1) os dias 29 e 30, embora predominassem sistemas convectivos em ambos, tiveram comportamentos substancialmente diferentes. Ao comparar com a figura 4.6b, nota-se que os núcleos da classe associada a PF eram mais numerosos que os da classe PI. Isso sugere que o pico menos frio está associado à precipitação não desprezível, mas não há elementos para avaliar;

2) no dia 30 a situação foi diferente. A presença de mais núcleos associados a PI parece ajustar-se melhor com o método de estimativa adotado. Em particular, o máximo de correlação está entre 240 e 250 K, sugerindo que o critério de Adler e Negri é aceitável. Todavia, não permite estimativas de precipitação acuradas. Resultados obtidos por MORAES (1992) evidenciam isto, uma vez que o método permite que estimativas acumuladas ao longo do tempo aproximem-se de valores acumulados medidos à superfície, entretanto a análise diária denuncia a existência de grande dispersão dos pontos.

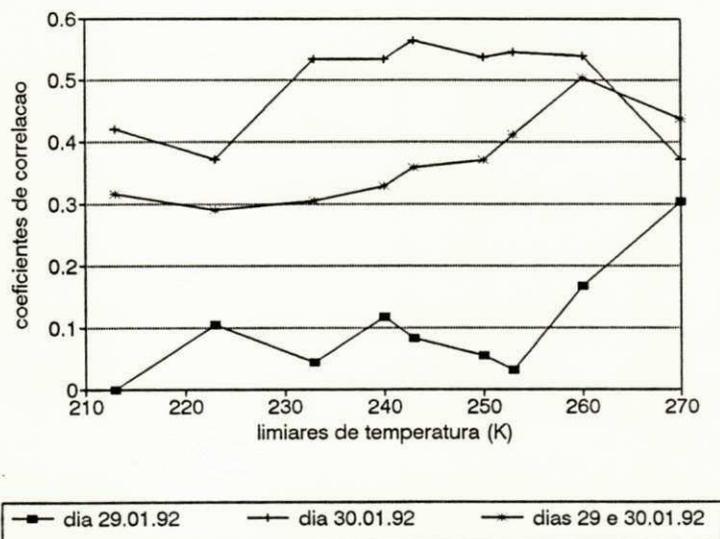


Figura 4.11 - Coeficientes de correlação obtidos para diversos limiares de temperatura (dias 29 e 30 de janeiro).

A figura 4.12 representa o comportamento da precipitação ao longo do espectro de X e Y (caso 3A), evidenciando a não existência de uma lei de formação para a distribuição de precipitação. Alvos com precipitação em faixas intermediárias distribuem-se ao longo de todo o espectro de frequências. Isto possivelmente associa-se à variação em termos de duração da precipitação: um alvo poderia ter precipitação diária em torno de 30 mm e esta quantidade ter precipitado num espaço de tempo bastante curto ou, ao contrário, ter levado horas para alcançar este valor por conta de uma chuva do tipo estratiforme, por exemplo. Entretanto dada a natureza dos dados (total diário), é impossível saber o tipo de precipitação, seu início, duração e término. Os resultados obtidos com base nos histogramas evidenciam que a classe associada a PF está relacionada com ocorrência de precipitação (provavelmente chuva do tipo estratiforme), porém existe uma indefinição quanto ao limiar desta classe. Os dias 17 e 20 de março de 1991 foram excluídos da análise por apresentarem frequência baixa de imagens, portanto não conduzindo a resultados confiáveis.

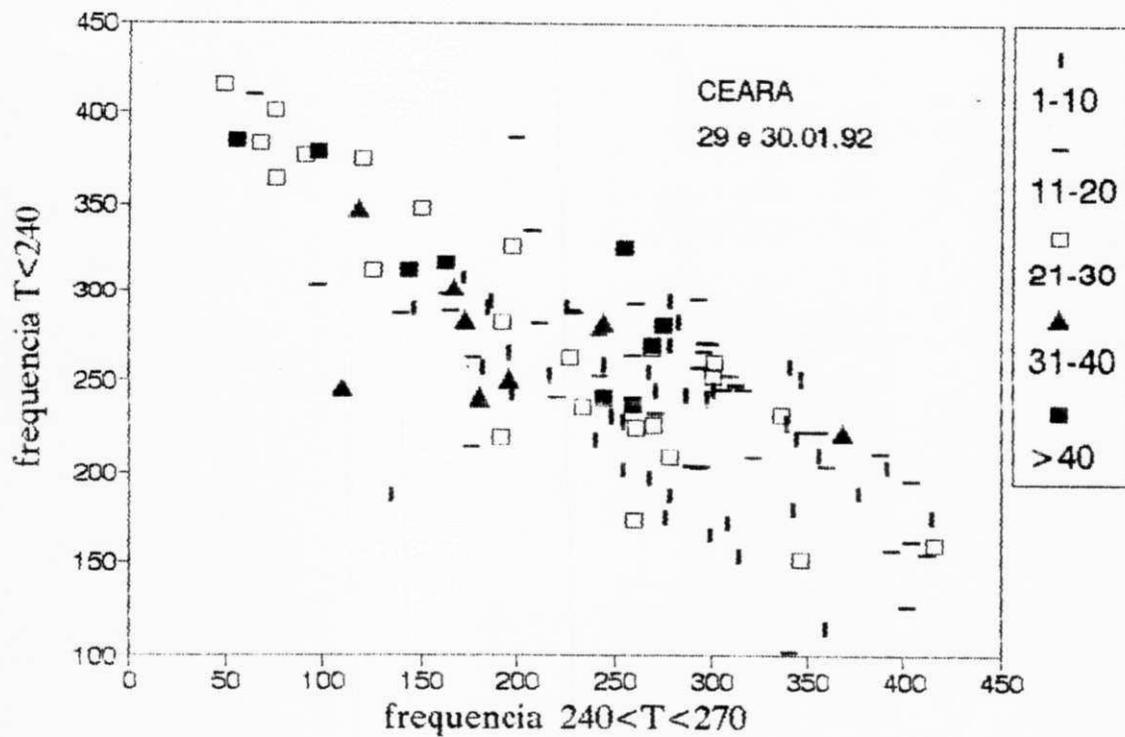


Figura 4.12 - Distribuição de alvos de precipitação ao longo do espectro de frequências acumuladas para os dias 29 e 30 de janeiro de 1992.

Capítulo 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este estudo investigou os alcances e as limitações da técnica CST (ADLER e NEGRI, 1988) quando adaptada para totais diários de precipitação. Esta condição é importante, desde que a informação de "verdade terrestre" disponível se limita, em geral, a totais diários. A segunda condição foi a utilização de imagens horárias de canal IV do METEOSAT-4, com resolução plena.

Os resultados obtidos evidenciaram que a técnica CST, considerando núcleos potenciais limitados a um pixel, não conduz a estimativas confiáveis da precipitação. Por outro lado, o uso de um único canal não permite uma filtragem confiável de cirrus nas imagens de satélite. Nessas condições a aplicação do critério de Adler e Negri, conservando as parametrizações originais, não aparece como claramente aplicável ao Estado do Ceará.

O uso de análise de textura e das características espaciais de uma imagem permite detectar núcleos de mínimo de temperatura de brilho. Histogramas de frequência evidenciam em particular dois picos de núcleos, associados a temperaturas nos intervalos $T < 240 \text{ K} = T_1$ (classe 1) e $T_1 < T < 270 \text{ K}$ (classe 2); todavia, a textura em si (quantificada pelo laplaciano da temperatura) não separa claramente em mais de uma classe.

Pode-se conjecturar que as duas classes de núcleos possam corresponder à precipitação intensa e fraca, respectivamente, com a segunda classe associada a chuva estratiforme. Por outro lado, optou-se por avaliar precipitação em áreas (alvos) como

fonte de comparação com as observações de satélite. Todavia, diversas tentativas de ajuste multivariado à informação fornecida pelas duas classes não exibem resultados melhores do que o método CST usual.

Em particular, os resultados mostram que a frequência de aparecimento de núcleos da classe 1 produzem estimativas de precipitação com a mesma dispersão que os ajustes bivariados. Ao considerar regressões lineares entre precipitação e frequência de núcleos frios, a correlação depende do limiar T_1 escolhido, sendo máximo para T_1 entre 240 K e 250 K mas não excedendo o valor 0,56. Nesse sentido, o critério original de Adler e Negri parece estar entre os mais adequados, embora a precipitação estimada não seja muito confiável. De acordo com estes resultados, pode-se sugerir seu uso para delimitar qualitativamente áreas de precipitação, pelo menos no Estado do Ceará.

Os resultados obtidos com o método de Barnes para gerar campos de precipitação evidenciaram-se altamente satisfatórios e com qualidade superior ao SURFER.

Sistemas convectivos apresentam um elevado grau de complexidade visto que para elementos convectivos individuais as taxas de precipitação mudam através de seus ciclos de vida e, provavelmente, de uma nuvem para outra. Desta forma, a utilização de totais diários como base de dados de comparação causa uma série de dificuldades, uma vez que não permite discriminar a natureza da precipitação e sua evolução diária e exige o máximo de imagens de satélite o que implica num considerável tempo de processamento; por outro lado a frequência de uma imagem por hora pode, em variados casos, não acompanhar a evolução e deslocamento de um complexo precipitante de forma adequada.

Finalmente, deve ser observado que relação empírica entre precipitação e temperatura de brilho pode não ser estável e variar com a latitude, estação do ano, topografia, etc, dependendo portanto da climatologia da região em estudo, podendo inclusi-

ve não ser uma relação linear (ARNAUD et al., 1992; SAKAMOTO, 1990; RICHARDS e ARKIN, 1981; ARKIN, 1979). Os resultados obtidos para os dias 29 e 30 de janeiro de 1992 evidenciam que a relação varia de um dia para o outro e que melhores ajustes poderiam ser obtidos com funções polinomiais.

Para futuros estudos sugere-se:

- 1) Utilizar dados horários de precipitação para comparação com imagens;
- 2) Avaliar o uso de informações de mais canais (p.ex. o visível). O canal de "vapor d'água" pode fornecer informação sobre disponibilidade de vapor d'água na circulação regional e dinâmica da formação de complexos precipitantes;
- 3) Caracterizar de forma adequada a evolução de complexos precipitantes na região, como forma de melhor fornecer subsídios para as estimativas de precipitação mediante satélite;
- 4) Avaliar ajustes do tipo polinomial.

A tecnologia para este tipo de estudos já está disponível no Brasil. Algumas instituições (como a FUNCEME) captam e armazenam informação de satélite com a frequência adequada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER, R.F. & MACK, R.A. (1984): Thunderstorm Cloud Height-Rainfall Rate Relations for Use with Satellite Rainfall Estimation Techniques. J. Climate Appl. Meteor., 23(2): 280-296.
- ADLER, R.F. & NEGRI, A.J. (1988): A Satellite Infrared Technique to Estimate Tropical Convective and Stratiform Rainfall. J. Appl. Meteor., 27(1): 30-51.
- ALBERGA, A.H.; VASCONCELOS, D.R. & SILVA, R.A. (1991): Resultados Preliminares da Estimativa de Chuva Através de Imagens do Canal Infravermelho do Satélite METEOSAT na FUNCEME. In: VII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Resumos, Viçosa, p. 115-118.
- ALVES, M.A.S. (1988): Diagnóstico de Precipitação Via Satélite: Uma Avaliação da Técnica Biespectral. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 149p.
- ALVES, J.M.B. & DINIZ, F.A. (1992): Sistemas Atmosféricos Atuantes no Estado do Ceará. In: VII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais, São Paulo, SBMet, Vol. 2, p. 680-684.
- _____ & KAYANO, M.T. (1991): Estudo Preliminar da Precipitação no Sul do Ceará Durante a Pré-Estação Chuvosa. Climanálise, Vol.6, N.º 4.
- _____ & REPELLI, C.A. (1992): Estudo Preliminar entre as Chuvas no Setor Norte do Nordeste e os eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS). In: VII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais, São Paulo, SBMet, Vol.1, p.72-76.
- _____ ; _____ & MONTEIRO, A.C. (1992): Um Estudo da Variabilidade Espaço/Temporal da Radiação de Onda Longa e as Chuvas sobre Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil. In: VII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais, São Paulo, SBMet, Vol.1, p.178-182.
- ARKIN, P.A. (1979): The Relationship between Fractional Coverage of High Cloud and Rainfall Accumulations during GATE over the B-Scale Array. Mon. Wea. Rev., 107(10):1382-1387.

- ARNAUD, Y.; DESBOIS, M. & MAIZI, J. (1992): Automatic Tracking and Characterization of African Convective Systems on METEOSAT Pictures. J. Appl. Meteor., 31(5): 443-453.
- AUGUSTINE, J.A., GRIFFITH, C.G., WOODLEY, W.L. & MEITIN, J.G. (1981): Insights into Errors of SMS-Inferred GATE Convective Rainfall. J. Appl. Meteor., 20(5): 509-520.
- BARRETT, E.C. & MARTIN, D.W. (1981): The Use of Satellite Data in Rainfall Monitoring. New York, Academic Press, 340p.
- CARVALHO, L.M.V. & MASSAMBANI, O. (1990): Análise de Textura na Imagem IV de Satélites Meteorológicos e Aplicações ao Estudo da Convecção. In: VI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais, Salvador, SBMet, Vol.2, p.743-747.
- CONFORTE, J.C.; SENAUBAR, M.A.; MASSAMBANI, O. & ALMEIDA, F.C. (1984): Delimitação de Areas de Precipitação Utilizando Satélite e Radar Meteorológico. In: III Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais, Belo Horizonte, SBMet, Vol.1, p. 111-117.
- DESBOIS, M.; SEZE, G. & SZEJWACH, G. (1982): Automatic Classification of Clouds on METEOSAT Imagery: Application to High-Level Clouds. J. Appl. Meteor., 21(3): 401-412.
- FRANÇA, G.B. (1989): Determinação de Areas de Chuva e Não-Chuva na Imagem do Satélite (GOES) Utilizando A Análise de Grupamento. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 98p.
- _____; OLIVEIRA, J.L. & ALMEIDA, F.C. (1990): Determinação de Area de Chuva e Não-Chuva na Imagem do Satélite (GOES) Utilizando A Análise de Grupamento. In: VI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais, Salvador, SBMet, Vol. 2, p. 758-762.
- GARCIA, O. (1981): A Comparison of Two Satellite Rainfall Estimates for GATE. J. Appl. Meteor., 20(4): 430-438.
- GRIFFITH, C.G., WOODLEY, W.L., GRUBE, P.G., MARTIN, D.W., STOUT, J. & SIKDAR, D.N. (1978): Rain Estimation from Geosynchronous Satellite Imagery-Visible and Infrared Studies. Mon. Wea. Rev., 106(8): 1153-1171.

- _____; AUGUSTINE, J.A. & WOODLEY, W.L. (1981): Satellite Rain Estimation in the U.S. High Plains. J. Appl. Meteor., 20(1): 53-66.
- KAYANO, M.T.; SATYAMURTI, P. & ALVES, J.M.B. (1991): Oscilações Intra-Sazonais na Precipitação do Sul do Ceará. Climanálise, Vol.6, N^o 8.
- KOBAYASHI, L.T. (1991): Análise Objetiva Aplicada ao Campo da Precipitação Pluviométrica. Monografia do Curso de Especialização em Métodos Estatísticos Aplicados à Meteorologia e Climatologia. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 27p.
- LIU, K.N.; OU, S.C.; TAKANO, Y.; VALERO, F.P.J. & ACKERMAN, T.P. (1990): Remote Sounding of the Tropical Cirrus Cloud Temperature and Optical Depth Using 6.5 and 10.5 μm Radiometers During STEP. J. Appl. Meteor., 29(8): 716-726.
- LOVEJOY, S. & AUSTIN, L. (1979): The Sources of Errors in Rain Amount Estimating Schemes from GOES Visible and IR Satellite Data, Mon. Wea. Rev., 107(8):1048-1054.
- MARTIN, D.W. & HOWLAND, M.R. (1986): Grid History: A Geostationary Satellite Technique for Estimating Daily Rainfall in the Tropics. J. Climate Appl. Meteor., 25(2): 184-195.
- MAGALHAES, A.R.; C.FILHO, H.; GARAGORRY, F.L.; GASQUES, J.G.; MOLION, L.C.B.; S.A.NETO, M.; NOBRE, C.A.; PORTO, E.R. & REBOUÇAS, O.E. (1987): The Effects of Climatic Variations on Agriculture in Northeast Brazil. In: Parry, M.L.; Carter, T.R. & Konijn, N.T. (eds.). The Impact of Climate Variations on Agriculture, Vol. 2. Assessments in Semi-Arid Regions, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- METEOSAT-4 Calibration Report. (1989): METEOSAT Exploitation Project. Issue 1, European Space Operations Centre, Darmstadt, Federal Republic of Germany.
- MONITOR CLIMATICO. (1991): Boletim de Monitoramento Climático. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Fortaleza, Vol. 6, N^o 48.
- MONITOR CLIMATICO. (1992): Boletim de Monitoramento Climático. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Fortaleza, Vol.6, N^o 58.

- MORAES, J.C. (1992): Estimativa de Precipitação por Satélite Meteorológico: Aplicação da Técnica CS na Bacia do Rio Curu-Ceará. In: VII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais, São Paulo, Vol. 1, p. 173-177.
- PRABHAKARA, C.; YOO, J-M.; DAW, G. & FRASER, R.S.(1990): Deep Optically Thin Cirrus Clouds in the Polar Regions. Part I: Infrared Extinction Characteristics. J. Appl. Meteor., 29(12): 1313-1329.
- REPELLI, C.A. & ALVES, J.M.B. (1992): Estudo Preliminar da Variabilidade Anual de Dias Secos e Chuvosos no Estado do Ceará. In: VII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais, São Paulo, Vol.1, p. 210-214.
- RICHARDS, F. & ARKIN, P. (1981): On the Relationship between Satellite-Observed Cloud Cover and Precipitation. Mon. Wea. Rev., 109(5): 1081-1093.
- SAKAMOTO, C.M. (1990): Application of Meteorological Satellite to Operational Drought Early Warning in Africa. In: Seminário Internacional sobre Estimativa da Biomassa Terrestre e da Produção Agrícola Via Satélite. Anais, São Paulo, IAG/USP, p. 75-93.
- SCOFIELD, R.A. (1987): The NESDIS Operational Convective Precipitation Technique. Mon. Wea. Rev., 115(8): 1773-1792.
- SEZE, G. & DESBOIS, M. (1987): Cloud Cover Analysis from Satellite Imagery Using Spatial and Temporal Characteristics of the Data. J. Climate Appl. Meteor., 26(2): 287-303.
- STOUT, J.E., MARTIN, D.W. & SIKDAR, D.N. (1979): Estimating GATE Rainfall with Geosynchronous Satellite Images. Mon. Wea. Rev., 107(5): 585-598.
- SZEJWACH, G. (1982): Determination of Semi-Transparent Cirrus Cloud Temperature from Infrared Radiances: Application to METEOSAT. J. Appl. Meteor., 21(3): 384-393.
- TSONIS, A.A. (1984): On the Separability of Various Classes from the GOES Visible and Infrared Data. J. Climate Appl. Meteor., 23(10): 1393-1410.
- _____ & ISAAC, G.A. (1985): On a New Approach for Instantaneous Rain Area Delineation in the Midlatitudes using GOES Data. J. Climate Appl. Meteor., 24(11): 1208-1218.

WYLIE, D.P. & LAITSCH, D. (1983): The Impacts of Different Satellite Data on Rain Estimation Schemes. J. Climate Appl. Meteor., 22(7): 1270-1281.

ANEXOS

Tabela A.1 - Relação do postos pluviométricos utilizados neste estudo com as precipitações observadas para cada dia.

Código	Latitude (^o ,')	Longitude (^o ,')	Precipitação			
			17.03.91	20.03.91	29.01.92	30.01.92
1	-7.21	-39.02	60.2	0.0	0.0	27.0
2	-2.53	-40.07	1.2	0.0	5.0	6.6
3	-6.05	-39.27	14.0	0.0	7.0	48.0
4	-6.34	-40.07	0.0	0.0	71.0	41.6
5	-3.35	-40.32	15.0	0.0	18.0	33.0
6	-7.00	-39.44	42.0	0.0	8.6	8.0
7	-5.31	-38.15	2.0	0.0	9.5	9.0
8	-3.22	-39.50	0.0	11.0	38.0	-
9	-6.46	-39.59	5.0	0.0	15.0	46.0
10	-3.57	-39.26	0.0	0.0	10.0	0.0
11	-3.54	-38.23	2.0	0.0	2.6	0.5
12	-4.34	-37.46	2.2	0.0	-	-
13	-4.22	-38.48	2.0	0.0	14.0	1.0
14	-7.12	-40.08	31.0	0.0	12.0	4.0
15	-4.26	-39.02	16.0	0.0	9.4	4.0
16	-6.20	-40.10	7.2	0.0	0.0	11.0
17	-6.52	-39.52	9.6	0.0	12.2	72.0
18	-6.56	-38.58	38.2	0.0	7.0	34.2
19	-6.44	-38.43	21.0	-	-	43.2
20	-7.28	-39.18	103.0	0.0	2.0	0.0
21	-7.10	-38.46	24.2	0.0	4.7	27.8
22	-4.20	-38.52	17.0	0.0	28.0	17.0
23	-4.11	-38.07	2.0	5.0	51.0	4.0
24	-3.03	-40.10	0.0	0.0	10.0	2.0
25	-5.08	-39.43	2.8	0.0	0.8	19.8
26	-7.30	-38.59	32.2	0.0	0.0	18.4
27	-2.54	-40.50	0.0	0.5	17.0	0.0
28	-7.04	-40.22	21.0	0.0	21.0	5.0
29	-4.21	-39.18	8.1	0.0	11.2	16.6
30	-4.28	-38.54	11.8	0.0	30.2	2.0
31	-4.14	-39.11	5.2	0.0	53.0	21.2
32	-3.57	-40.28	0.0	0.0	17.0	0.0
33	-7.03	-39.17	33.5	0.0	2.0	64.0
34	-6.32	-39.29	2.0	0.0	19.0	83.0
35	-4.10	-40.57	0.0	0.0	41.0	44.4
36	-4.08	-38.14	0.0	14.2	8.0	3.0
37	-6.07	-39.52	6.5	0.0	40.0	60.0
38	-3.43	-38.39	10.4	17.7	16.2	4.2
39	-6.36	-39.04	9.0	0.0	7.4	53.2
40	-3.02	-41.14	3.4	7.0	10.6	2.4
41	-3.33	-40.39	1.5	0.0	15.0	3.0
42	-5.11	-40.40	0.8	0.0	5.1	53.0
43	-7.14	-39.25	82.5	0.0	0.0	87.3
44	-2.55	-40.10	9.0	11.0	5.0	0.0
45	-6.55	-39.33	47.4	0.0	0.0	48.4
46	-3.46	-40.14	0.0	0.0	34.0	9.0
47	-3.43	-38.32	26.0	25.8	37.2	0.0
48	-3.45	-40.49	0.0	0.0	15.0	0.0

Tabela A.1 - continuação

Código	Latitude (⁰ ,')	Longitude (⁰ ,')	Precipitação			
			17.03.91	20.03.91	29.01.92	30.01.92
49	-4.03	-39.27	0.0	0.0	6.0	0.0
50	-3.08	-40.50	1.5	0.0	36.5	10.5
51	-6.52	-39.13	37.0	0.0	3.2	40.2
52	-3.55	-40.22	0.0	0.0	12.0	10.0
53	-4.10	-40.44	2.0	10.0	65.0	38.0
54	-4.15	-38.55	13.0	0.5	7.5	8.0
55	-4.24	-40.24	0.0	0.0	12.0	38.0
56	-3.55	-40.53	3.0	3.0	15.0	-
57	-4.41	-37.21	0.0	6.0	3.0	0.0
58	-6.24	-38.51	27.0	0.0	0.0	53.3
59	-6.22	-39.18	9.0	0.0	6.0	87.0
60	-5.24	-40.18	8.0	-	-	81.0
61	-6.47	-38.43	40.3	0.0	12.0	32.8
62	-4.20	-40.42	8.0	9.0	9.0	2.0
63	-4.32	-40.43	3.5	10.5	8.2	24.0
64	-5.49	-38.18	13.0	0.0	12.0	13.4
65	-3.44	-39.47	10.0	0.0	43.5	6.5
66	-4.40	-37.49	0.5	1.8	1.5	1.5
67	-3.41	-39.35	6.4	4.6	58.3	4.5
68	-3.30	-39.34	16.3	3.4	29.0	2.6
69	-4.34	-38.55	3.6	0.0	19.2	1.4
70	-2.55	-39.55	3.2	0.0	0.0	0.0
71	-4.31	-39.37	3.2	0.0	29.0	-
72	-5.37	-38.44	0.2	0.0	4.0	13.6
73	-5.40	-38.37	1.0	0.0	3.2	4.2
74	-5.54	-38.37	9.0	0.0	2.8	54.0
75	-4.50	-37.47	0.0	0.0	4.4	0.0
76	-7.35	-39.17	30.2	0.0	0.0	-
77	-7.42	-39.01	7.2	0.0	0.0	22.4
78	-7.13	-39.19	110.2	0.0	60.5	0.0
79	-6.31	-39.31	3.0	0.0	0.7	105.0
80	-6.45	-38.58	22.0	0.0	29.0	33.0
81	-5.08	-38.06	0.0	0.0	15.3	6.8
82	-3.51	-38.37	3.0	16.0	2.0	0.0
83	-3.54	-38.41	1.5	11.5	1.0	0.0
84	-3.07	-40.08	1.0	0.0	15.0	0.0
85	-3.13	-40.41	3.1	1.9	46.4	6.8
86	-3.31	-40.20	4.0	5.0	6.8	27.6
87	-7.23	-38.46	18.9	0.0	60.2	32.2
88	-3.32	-40.27	0.0	0.0	27.0	95.0
89	-7.18	-38.56	55.8	0.0	0.0	21.8
90	-5.40	-39.11	2.0	0.0	1.0	15.8
91	-7.15	-39.08	83.0	0.0	0.0	27.0
92	-5.45	-39.37	7.4	0.0	10.6	61.0
93	-4.48	-40.04	0.0	4.0	21.0	31.2
94	-5.06	-38.22	0.0	0.0	13.6	9.7
95	-3.28	-40.41	4.0	11.0	0.0	0.0
96	-3.13	-40.07	0.0	0.0	10.0	3.0
97	-3.54	-40.44	4.0	8.0	10.0	48.0

Tabela A.1 - continuação

Código	Latitude (⁰ ,')	Longitude (⁰ ,')	Precipitação			
			17.03.91	20.03.91	29.01.92	30.01.92
98	-4.18	-38.59	8.0	0.4	7.0	1.1
99	-7.06	-39.41	77.0	0.0	32.0	32.0
100	-4.43	-40.34	0.0	9.0	25.0	17.0
101	-5.31	-40.46	2.0	0.0	0.0	28.6
102	-6.14	-38.55	12.4	0.0	6.8	59.2
103	-4.11	-38.28	1.0	7.0	11.0	6.5
104	-3.59	-38.37	6.2	9.6	3.2	2.8
105	-4.13	-38.55	16.5	2.2	20.8	8.1
106	-3.59	-40.42	1.8	14.6	9.2	51.4
107	-4.45	-37.58	0.4	0.0	8.0	1.4
108	-4.09	-38.51	6.0	8.0	35.0	0.0
109	-3.24	-39.01	11.0	9.0	0.0	0.0
110	-3.27	-39.09	14.5	0.0	0.0	2.5
111	-6.12	-40.41	4.3	0.0	6.5	30.1
112	-4.06	-39.14	4.0	0.0	23.0	13.0
113	-5.27	-39.43	16.5	0.0	18.5	47.0
114	-7.50	-39.04	8.0	0.0	2.8	51.2
115	-3.47	-39.16	17.0	1.0	8.0	4.0
116	-6.03	-38.28	16.5	0.0	12.5	50.0
117	-5.49	-39.25	19.0	0.0	0.0	47.0
118	-4.44	-40.55	0.0	0.0	0.0	15.0
119	-7.32	-39.07	36.2	0.0	1.2	40.2
120	-7.06	-40.02	41.3	0.0	7.0	31.0
121	-4.58	-39.02	4.0	0.0	29.0	32.0
122	-6.14	-39.11	8.0	0.0	2.0	165.0
123	-5.12	-39.17	4.2	0.0	12.6	-
124	-5.04	-37.59	0.0	0.0	18.8	2.0
125	-4.13	-38.43	3.7	0.0	11.7	0.0
126	-4.09	-40.35	2.5	14.0	0.0	6.0
127	-4.56	-37.58	0.0	0.0	24.0	2.2
128	-6.32	-39.54	4.4	0.0	37.0	41.4
129	-4.20	-40.09	2.0	0.0	9.0	79.6
130	-3.28	-40.12	2.4	0.0	26.0	0.0
131	-7.11	-39.44	44.8	0.0	11.4	73.0
132	-4.03	-40.52	4.2	3.4	46.0	0.0
133	-3.35	-38.58	15.8	13.0	-	-
134	-5.17	-38.16	8.0	0.0	46.0	6.1
135	-3.40	-39.14	8.0	3.0	11.0	4.0
136	-5.35	-39.22	4.0	0.0	0.0	30.0
137	-3.21	-40.28	0.0	0.0	0.0	0.0
138	-3.42	-40.21	8.0	7.0	9.4	16.1
139	-5.42	-39.01	5.0	0.0	0.0	-
140	-5.15	-38.08	0.0	0.0	38.0	25.0
141	-4.50	-40.20	0.0	0.0	18.0	18.2
142	-6.01	-40.17	0.0	0.0	0.0	-
143	-3.44	-40.59	2.6	0.0	55.6	3.4
144	-3.17	-39.15	12.0	1.0	1.0	0.0
145	-3.51	-40.55	21.0	3.8	41.0	-
146	-6.38	-38.42	19.0	0.0	14.5	110.0

Tabela A.1 - continuação

Código	Latitude (⁰)	Longitude (⁰)	Precipitação			
			17.03.91	20.03.91	29.01.92	30.01.92
147	-3.40	-39.21	8.4	2.0	44.0	5.0
148	-3.37	-39.30	11.8	2.4	69.4	4.8
149	-3.19	-40.33	0.0	0.0	16.0	32.0
150	-4.11	-40.29	0.0	4.0	0.0	45.0
151	-6.48	-39.18	26.0	0.0	0.0	56.0
152	-3.34	-41.05	2.4	5.2	16.8	22.6
160	-4.25	-38.40	10.0	0.0	20.0	18.0
176	-4.01	-38.19	0.0	29.0	1.0	-
184	-5.42	-38.10	13.6	0.0	1.0	-
186	-3.59	-39.35	5.0	0.0	46.4	-
202	-4.58	-38.38	0.0	0.0	7.6	23.0
204	-4.18	-38.30	12.0	0.0	35.0	-
205	-4.06	-38.29	5.0	0.0	-	-
212	-5.16	-38.56	-	-	-	44.3
220	-4.51	-39.34	4.0	0.0	33.0	-
228	-4.25	-40.53	1.0	3.9	29.6	17.6
236	-5.58	-39.54	1.0	0.0	-	-
244	-2.59	-41.06	1.4	2.2	10.2	-
252	-4.15	-40.39	0.0	0.0	7.0	-
261	-3.34	-39.58	4.0	0.0	11.0	-
277	-4.03	-40.45	0.0	3.5	10.5	41.0
295	-7.11	-40.01	37.0	0.0	-	-
307	-7.17	-40.28	8.0	0.0	-	-
314	-7.09	-39.25	52.0	0.0	-	28.0
318	-6.29	-38.38	5.0	0.0	-	-
319	-6.24	-38.57	13.5	0.0	-	-
320	-6.17	-39.18	0.0	0.0	4.0	-
321	-6.24	-39.27	5.0	0.0	-	-
335	-6.45	-39.07	36.5	0.0	-	-
336	-6.53	-39.06	52.0	0.0	-	-
337	-7.28	-38.46	12.2	0.0	29.3	27.6
339	-7.24	-39.08	80.0	0.0	-	55.4
342	-5.32	-39.36	6.0	0.0	-	-
344	-6.02	-38.18	15.0	5.4	13.0	-
346	-7.08	-39.46	66.0	0.0	-	-
349	-5.55	-39.16	4.0	0.0	-	23.4
353	-4.13	-38.42	0.0	0.0	12.0	-
354	-4.17	-38.38	0.0	0.0	4.0	1.0
356	-4.53	-40.45	0.0	0.0	28.0	-
358	-4.40	-40.11	0.0	0.0	18.0	-
359	-6.41	-39.46	8.4	0.0	-	22.0
360	-3.36	-39.27	11.5	0.0	14.0	14.0
361	-4.29	-38.36	2.0	0.0	54.8	3.0
364	-3.50	-38.30	-	34.8	-	-
390	-5.00	-39.04	0.0	0.0	17.0	-
392	-6.14	-38.56	0.0	0.0	6.8	-
393	-7.30	-38.45	0.0	0.0	29.3	-
396	-4.04	-39.28	0.0	0.0	3.7	-
397	-3.48	-39.16	16.4	0.8	16.0	-

Tabela A.1 - continuação

Código	Latitude (⁰ ,')	Longitude (⁰ ,')	Precipitação			
			17.03.91	20.03.91	29.01.92	30.01.92
434	-3.40	-40.20	5.0	3.6	-	-
462	-3.45	-39.22	17.0	0.0	16.6	-
469	-7.13	-39.18	110.0	0.0	-	-
507	-7.15	-38.44	28.6	0.0	-	-
544	-4.45	-38.48	0.0	0.0	11.0	1.5
551	-5.12	-40.40	1.2	0.0	-	-
552	-4.18	-38.20	0.0	28.8	2.8	-

Tabela A.2 - Conversão nível de cinza/radiância/temperatura para canal infravermelho do METEOSAT-4

Temp K	Rad $Wm^{-2}sr^{-1}$								
170	0.475	210	1.954	250	5.136	290	10.392	330	17.809
171	0.496	211	2.011	251	5.242	291	10.551	331	18.021
172	0.518	212	2.068	252	5.348	292	10.712	332	18.235
173	0.541	213	2.127	253	5.456	293	10.874	333	18.450
174	0.564	214	2.187	254	5.565	294	11.037	334	18.666
175	0.587	215	2.248	255	5.676	295	11.201	335	18.884
176	0.612	216	2.310	256	5.788	296	11.367	336	19.103
177	0.637	217	2.373	257	5.901	297	11.535	337	19.323
178	0.663	218	2.438	258	6.015	298	11.703	338	19.545
179	0.690	219	2.503	259	6.131	299	11.873	339	19.768
180	0.717	220	2.570	260	6.248	300	12.045	340	19.992
181	0.746	221	2.638	261	6.367	301	12.218	341	20.217
182	0.775	222	2.707	262	6.487	302	12.392	342	20.444
183	0.805	223	2.777	263	6.608	303	12.567	343	20.672
184	0.835	224	2.848	264	6.730	304	12.744	344	20.901
185	0.867	225	2.921	265	6.854	305	12.922	345	21.131
186	0.899	226	2.995	266	6.979	306	13.102	346	21.363
186	0.933	227	3.070	267	7.106	307	13.282	347	21.596
188	0.967	228	3.146	268	7.234	308	13.465	348	21.830
189	1.002	229	3.223	269	7.363	309	13.648	349	22.065
190	1.037	230	3.302	270	7.494	310	13.833	350	22.302
191	1.074	231	3.381	271	7.626	311	14.019	351	22.540
192	1.112	232	3.462	272	7.759	312	14.207	352	22.779
193	1.150	233	3.545	273	7.894	313	14.396	353	23.019
194	1.190	234	3.628	274	8.030	314	14.586	354	23.261
195	1.230	235	3.713	275	8.167	315	14.777	355	23.504
196	1.271	236	3.799	276	8.306	316	14.970	356	23.748
197	1.314	237	3.886	277	8.446	317	15.164	357	23.993
198	1.357	238	3.975	278	8.588	318	15.360	358	24.239
199	1.401	239	4.064	279	8.731	319	15.557	359	24.487
200	1.446	240	4.155	280	8.875	320	15.755	360	24.736
201	1.492	241	4.248	281	9.020	321	15.954	361	24.986
202	1.540	242	4.341	282	9.167	322	16.155	362	25.238
203	1.588	243	4.436	283	9.316	323	16.357	363	25.490
204	1.637	244	4.532	284	9.465	324	16.561	364	25.744
205	1.687	245	4.63	285	9.616	325	16.765	365	25.999
206	1.738	246	4.728	286	9.769	326	16.971	366	26.255
207	1.791	247	4.828	287	9.922	327	17.179	367	26.512
208	1.844	248	4.93	288	10.078	328	17.387	368	26.771
209	1.899	249	5.032	289	10.234	329	17.597	369	27.030

Fonte: METEOSAT-4 Calibration Report, Issue 1, European Space Operations Centre, 1989.
 A radiância avalia-se como Rad = CAL * (Nível de Cinza - SPC). Foram adotados os valores CAL = 0,075 e SPC = 5,0.